

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

JEAN WEISSMANN

Première thèse

Contribution à l'étude de la détonation dans les moteurs à allumage commandé

Deuxième thèse

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

soutenues le 20 mai 1961 devant la commission d'examen

MM. LAFFITTE.....	<i>Président.</i>
SIESTRUNCK...	} <i>Examineurs.</i>
VICHNIEVSKY..	

PUBLIÉ PAR

LA REVUE DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE
ET ANNALES DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

Vol. XVII, 1962, n° 2, p. 288 à 319 et n° 3, p. 438 à 472.

—
PARIS

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

JEAN WEISSMANN

Première thèse

Contribution à l'étude de la détonation dans les moteurs à allumage commandé

Deuxième thèse

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

soutenues le 20 mai 1961 devant la commission d'examen

MM. LAFFITTE.....	<i>Président.</i>
SIESTRUNCK...	} <i>Examineurs.</i>
VICHNIEVSKY..	

PUBLIÉ PAR

LA REVUE DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE
ET ANNALES DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

Vol. XVII, 1962, n° 2, p. 288 à 319 et n° 3, p. 438 à 472.

PARIS



FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen..... J. PÈRÈS.

PROFESSEURS

G. JULIA..... T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
DE BROGLIE..... T Théories physiques.
PRENANT..... T Anatomie et Histologie comparées.
PÈRÈS..... T Mécanique des fluides et Applications.
BOURCART..... T Géographie physique et Géologie dynamique.
L'LANTEFOL..... T Botanique.
GRASSÉ..... T Evolution des êtres organisés.
PRÉVOST..... T Chimie organique.
BOULIGAND..... T Analyse appliquée à la géométrie.
CHAUDRON..... T Chimie appliquée.
WYART..... T Minéralogie et Cristal.
TEISSIER..... T Zoologie.
MANGENOT..... T Biologie vég. (Orsay).
P. AUGER..... T Physique quantique et Relativité.
MONNIER..... T Physiolo. des fonctions.
PIVETRAU..... T Paléontologie.
ROCARD..... T Physique (E. N. S.).
H. CARTAN..... T Mathématiques (E.N.S.).
LAFFITTE..... T Chimie générale.
FAVARD..... T Géométrie supérieure.
COULOMB..... T Physique du Globe.
M^{lle} COUSIN..... T Biologie.
CHRÉTIEN..... T Chimie minérale.
P. DRACH..... T Zoologie.
KASTLER..... T Physique (E.N.S.).
EHRUSS..... T Génétique.
WURMSER..... T Biologie physico-chimique.
RIVIÈRE..... T Géologie (Orsay).
GAUTHIER..... T Biologie (P.C.B.).
LUCAS R..... T Recherches physiques.
A. THOMAS..... T Biologie cellulaire.
ARNULF..... T Optique appliquée.
M. MORAND..... T Phys. enseignement.
SOLEILLET..... T Physique (P.C.B.).
FORTIER..... T Mécanique expérimentale des fluides.
DANJON..... T Astronomie.
PETIT..... T Biologie maritime.
QUENY..... T Météorologie et Dynamique atmosphérique.
GALLIEN..... T Embryologie.
EICHORN..... T Biol. vég. (P.C.B.).
DE CUGNAC..... T Biol. vég. (S.P.C.N.).
M^{lle} CAUCHOIS..... T Chimie physique.
THÉLLIER..... T Physique du Globe.
L'HÉRITIER..... T Biol. générale (Orsay).
GRIVET..... T Radioélectricité (Orsay).
PONCIN..... T Mécanique générale.
DUBREIL..... T Arithmétique et Théorie des nombres.
QUELET..... T Chimie organique.
CAGNIARD..... T Géophysique appliquée.
CHAMPETIER..... T Chimie macromoléculaire.
CUVILLIER..... T Micropaléontologie.
JUNG..... T Pétrographie.
TRILLAT..... T Microscopie et Diffraction.
WIEMANN..... T Chimie organique et structurale.
JACQUINOT..... T Spectroscopie (Orsay).
VASSY..... T Phys. de l'atmosphère.
DESTOUCHES..... T Théories physiques.
PRUVOST..... T Géologie.
AMIEL..... T Chimie des solides.
HOCART..... T Minéralogie et Cristal.
J.-P. MATHIEU..... T Recherches physiques.
COUTEAUX..... T Biol. animale (P.C.B.).
MAY..... T Zoologie (Orsay).
CROQUET..... T Théorie des fonct. et Topologie.
FELDMANN..... T Biol. végétale (P.C.B.).
GUINIER..... T Physique des solides (Orsay).

JOST..... T Physiologie comparée.
FORTET..... T Calcul des probabilités et Physique math.
SCHWARTZ..... T Calcul différentiel et intégral.
CHOUARD..... T Physiologie végétale.
MALAVARD..... T Aviation Tech. aéronaut.
BRELOT..... T Calcul différentiel.
NORMANT..... T Synthèse organ. gén.
BÉNARD..... T Chimie (E.N.S.C.P.).
BUYAT..... T Botanique (E. N. S.).
DUGUÉ..... T Statistiques mathématiques.
SOULAIRAC..... T Psychophysiologie.
ULRICH..... T Physiol. vég. (E.N.S.).
MARÉCHAL..... T Optique théorique et appliquée.
KIRRMANN..... T Théories chimiques.
CHADEFAUD..... T Botanique.
M^{lle} LE BRETON..... T Physiologie générale.
SALEM..... T Mathém. générales.
LELONG..... T Mathém. générales.
DEVILLERS..... T Anatomie et Histologie comparées.
EHRESMANN..... T Topologie algébrique.
FRANÇON..... T Physique (S.P.C.N.).
GLANGEAUD..... T Géographie physique et Géologie dynamique.
GODEMENT..... T Mathématiques (M.P.C.).
L'ISOT..... T Calcul des probabilités.
E. ROCH..... T Géologie.
SCHATZMANN..... T Astrophysique.
TERMIER..... T Paléontologie stratigraphique.
ZAMANSKY..... T Mathématiques générales.
LENNUIER..... T Physique (P.C.B.).
RIZET..... T Génétique (Orsay).
ROUTHIER..... T Géologie appliquée.
M^{me} TONNELAT..... T Relativité.
DIXMIER..... T Mathématiques (M.P.C.).
SOUCRAY..... T Chimie (P.C.B.).
AIGRAIN..... T Electrotechnique gén.
BRUSSET..... T Chimie minérale.
M. LÉVY..... T Physique théorique des hautes énerg. (Orsay).
M^{me} CHAIX..... T Chimie biologique.
M^{me} HUREL-PY..... T Biol. végétale (P.C.B.).
PIAUX..... T Chimie (S. P. C. N.).
BRUN..... T Mécanique expérimentale des fluides.
LEDERER..... T Chimie biologique.
M^{me} DUBREIL..... T Mathématiques (Aggrég.).
M^{me} LE LONG..... T Mathématiques (E.N.S.).
BELLAI..... T Géologie (S.P.C.N.).
GOTTE..... T Physique (M.P.C.).
J. E. DUROIS..... T Chimie (M.G.P.).
LAMOTTE..... T Zoologie (E. N. S.).
A. MICHEL..... T Chimie minérale (Orsay).
OLMER..... T Energétique générale.
ROUAULT..... T Physique.
GAUTHIER..... T Mécanique appliquée.
BARCHWITZ..... T Chimie physique.
BROSSEL..... T Physique atomique.
BUSER..... T Biol. animale (P.C.B.).
CAMUS..... T Biol. végétale (P.C.B.).
CASTAING..... T Physique (Orsay).
CURIE..... T Minéral. et Cristallog.
MOYSE..... T Physiol. vég. (Orsay).
PANNETIER..... T Chimie (Orsay).
POSSOMPES..... T Biol. animale (P.C.B.).
PULLMANN..... T Chimie théorique.
TEILLAC..... T Physique nucléaire et Radioactivité (Orsay).
TONNELAT..... T Biol. physico-chimique.
VILLE..... T Econométrie.
WILLEMART..... T Chimie (P.C.B.).
DODÉ..... T Chimie (Orsay).
FREYMANN..... T Physique (S.P.C.N.).
GUINOCHET..... T Biol. vég. (Orsay).
ROLLET..... T Chimie (P.C.B.).
M^{lle} JOSIEN..... T Chimie (P.C.B.).

CHEVALLEY..... T Géométrie algébrique et théorie des groupes.
ARNOULT..... T Electronique (Orsay).
CHAPELLE..... T Physique (Orsay).
DELANGE..... T Mathématiques (Orsay).
DENY..... T Math. général (Orsay).
GERMAIN..... T Méc. théor. des fluides.
G. LUCAS..... T Géologie.
ALLARD..... T Chimie physique.
BERTHELOT..... T Phys. fond. des hautes énergies (Orsay).
BRICARD..... T Météorologie.
M^{me} ALBE-FES-SARD..... T Psychophysiol.
FRIEDEL..... T Physique des solides (Orsay).
M. JULIA..... T Chimie organ. structur.
LENDER..... T Biol. animale (S.P.C.N.) (Orsay).
MAGAT..... T Physico-chimie des rayonnements.
M^{lle} QUINTIN..... T Electrochimie.
MONOD..... T Biochimie cellulaire.
BENOIT..... T Phys. animale (Orsay).
DE POSSEL..... T Analyse numérique.
CHARLOT..... T Chimie analytique.
HAISSINSKY..... T Radiochimie.
LEMEÉ..... T Physiologie (B.M.P.V.) (Orsay).
GUÉRIN..... T Chimie (Orsay).
M. CHATELET..... T Chimie (P.C.B.).
JEAN..... T Physique (Orsay).
MATTIER..... T Physique (Orsay).
L. MICHEL..... T Phys. théorique (Orsay).
RUMPF..... T Chimie (P. C. B.).
BERGERARD..... T Biol. animale (S.P.C.N.) (Orsay).
BERTEIN..... T Electronique (Orsay).
BOUSSIÈRES..... T Chimie des Radioéléments (Orsay).
M^{me} COUTURE..... T Thermodynam. et Mécanique physique.
ELLENBERGER..... T Géologie appliquée.
FRANC..... T Biol. animale (P.C.B.).
SCHNELL..... T Botan. tropicale (Orsay).
STOLKOWSKI..... T Biol. animale (P.C.B.).
ACHER..... T Chimie biologique (Orsay).
BAUDOIN..... T Biologie.
BEAUMONT..... T Biologie animale.
BLAMONT..... T Géophys. ionosphère.
BOURREAU..... T Biol. vég. (S. P. C. N.) (Orsay).
D. CURIE..... T Physique (M. G. P.).
DURAND-DELGA..... T Géologie.
FRÉON..... T Chimie organ. (Orsay).
HELLER..... T Physiologie végétale.
TORTAT..... T Calcul des probabilités.
CAILLEUX..... T Géologie (S. P. C. N.).
MAGNAN..... T Physique (P. C. B.).
DAUDEL..... T Mécanique ondulatoire appliquée à la chimie théorique et à la physique nucléaire.
M^{lle} FOURCROY..... T Biol. vég. (S. P. C. N.).
BARRAUD..... T Physiologie cellulaire.
NOIROT..... T Evolution des êtres organisés.
M^{me} FOURES-BRUHAT..... T Mécanique analytique et Mécanique céleste.
M^{lle} VEIL..... T Physiologie générale.
LWOFF..... T Microbiologie.
SIESTRUMSKY..... T Mécanique physique et expérimentale.
LACOMBE..... T Métallurgie (Orsay).
BROCHARD..... T Physique (P. C. B.) (Orsay).
CABANNES..... T Mécanique générale.
LESIEUR..... T Mathématique (M.P.C.) (Orsay).
MAZET..... T Mécan. génér. (Orsay).

Secrétaire général..... R. POULLAIN.

L'étude statistique du phénomène de combustion anormale a été entreprise dès 1946 par M. VICHNIEVSKY dans le cadre des travaux de recherches de la *Station Claude-Bonnier* ; plus tard, MM. BANERJEA et KAROUT ont poursuivi les investigations sur moteurs à allumage commandé et M. SALÉ a étudié la combustion normale dans les moteurs.

M. VICHNIEVSKY a bien voulu me charger de poursuivre l'étude de la combustion détonante et des méthodes de mesure des qualités indétonantes des carburants et m'a dirigé dans le présent travail. Je lui présente ici mes respectueux remerciements pour la bienveillance avec laquelle il m'a conseillé et dirigé mon travail.

Je remercie M. le professeur LAFFITTE d'avoir bien voulu présider le jury et j'exprime ma gratitude à M. le professeur SIESTRUNCK pour l'accueil bienveillant qu'il a fait à ce travail.

Je remercie la direction de l'*Institut Français du Pétrole* de m'avoir fourni les moyens matériels nécessaires à cette étude.

J'exprime également toute ma gratitude à M. le directeur de la Division « Applications » de l'*Institut Français du Pétrole* pour l'aide morale et matérielle qu'il a bien voulu m'apporter.

Je remercie vivement MM. MONNOT, COLLE, SALÉ, SOUKIASSIAN et KERMAREC ainsi que tous les collaborateurs de la Division « Applications » qui ont bien voulu m'encourager et m'aider au cours de mon travail.

SOMMAIRE

Première partie

Introduction.

I. MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA COMBUSTION DÉTONANTE

1. Rappel des méthodes d'étude du cliquetis.
 1. Définition du cliquetis.
 2. Méthode d'étude.
2. Résumé des travaux effectués à la *Station Claude-Bonnier* sur la détection des vibrations de la culasse.
3. Méthode de classement des carburants.
 1. Méthodes de laboratoire (méthodes standard).
 2. Classement des carburants sur véhicule.

II. ÉTUDE DU DÉLAI DE DÉTONATION

Définition du délai de détonation.

Résumé des travaux précédemment faits à l'*Institut Français du Pétrole* sur la durée de combustion normale.

1. Influence du taux de compression et de la nature chimique du carburant utilisé sur la fraction de charge brûlée au moment de l'apparition de la détonation.
 1. Détermination de la fraction de charge brûlée au moment de l'apparition de la détonation.
 2. Détermination expérimentale de la fraction de charge brûlée.
2. Mesureur de délai de détonation.
 1. Principe de l'appareil.
 2. Réalisation du mesureur de délai de détonation.
3. Mesures et résultats.
 1. Mesure de la valeur indétonante d'un carburant en fonction du délai de détonation.
 2. Résultats d'essais.
4. Conclusions sur les essais effectués sur les moteurs C. F. R.

Deuxième partie

III. POSSIBILITÉ D'UTILISER LES MOTEURS EXPÉRIMENTAUX RAPIDES POUR LE CLASSEMENT DES CARBURANTS

1. Essais d'étude du délai de détonation sur moteur I. F. P.-Renault.
2. Étude de l'intensité de la détonation. Classement des carburants sur moteur rapide I. F. P.-Renault.
 1. Définition de la méthode d'essais.
3. Expérimentation.
 1. Essais préliminaires.
 2. Étude de carburants type « commercial ».
 3. Étude de carburants ayant un pourcentage important d'hydrocarbures de type aromatique.
4. Conclusion.

BIBLIOGRAPHIE

Annexes

ANNEXE I. Méthode de détermination des indices d'octane F_1 , F_2 .

ANNEXE II. Moteur expérimental I. F. P.-Renault.

ANNEXE III. Relevé des courbes caractéristiques du moteur.

ANNEXE IV. Influence de l'emploi d'une soupape d'admission à déflecteur sur moteur I. F. P.

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION

Vers la fin de la guerre 1914-1918, lors de l'apparition sur le marché du carburant type « aviation », on s'aperçut qu'il était nécessaire de choisir les hydrocarbures en fonction des moteurs utilisés.

Par la suite, l'augmentation rapide du nombre de véhicules automobiles précisa les problèmes à traiter dans le domaine des petits moteurs. Les premières études entreprises par les sociétés pétrolières, d'une part, et par les constructeurs d'automobiles, d'autre part, furent orientées vers la détermination des caractéristiques de volatilité et de tension de vapeur des hydrocarbures.

Vers 1920, le problème de la détonation commençait à être reconnu comme d'importance capitale et, dès cette époque, plusieurs méthodes furent étudiées pour pouvoir déterminer la valeur indétonante d'un carburant.

En 1921, une première méthode due à RICARDO (méthode H. U. C. R.) était utilisée pour déterminer le taux de compression maximal admissible pour un moteur avec un carburant donné, sans cliquetis audible. Ensuite, de nombreuses méthodes de mesure ont été étudiées pour aboutir finalement aux méthodes Standard A. S. T. M. utilisées de façon universelle.

Cependant les méthodes de laboratoire ne reproduisent pas exactement les phénomènes rencontrés sur moteurs réels ou sur véhicules ; aussi les raffineurs poursuivent-ils des investigations sur véhicules pour déterminer l'« indice d'octane route » du carburant, grandeur qui caractérise de façon plus précise l'ensemble carburant-moteur en utilisation réelle.

Il est à noter que l'indice d'octane route est l'élément final de qualification du carburant, car c'est, en effet, le paramètre qui influe le plus sur le jugement de l'usager. Or, les sociétés pétrolières se trouvent dans l'obligation de conserver certaines marges de sécurité lorsqu'elles se fient à l'indice d'octane laboratoire pour éviter de se trouver au-dessous des exigences des voitures modernes. Cela peut se traduire par des frais supplémentaires au cours du raffinage.

Une connaissance plus précise de la valeur indétonante des hydrocarbures pourrait permettre, tant aux sociétés pétrolières qu'aux constructeurs d'automobiles, d'ajuster de façon plus sûre les carburants aux véhicules et réciproquement les taux de compression des véhicules aux carburants disponibles.

Au cours du présent travail, nous avons tout d'abord essayé de trouver une corrélation entre les différents indices d'octane qui caractérisent un carburant ; ensuite, nous avons tenté d'élaborer une méthode permettant de reproduire au laboratoire les mesures faites habituellement sur véhicules.

I. MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA COMBUSTION DÉTONANTE

1. RAPPEL DES MÉTHODES D'ÉTUDE DU CLIQUETIS

1. Définition du cliquetis.

La combustion dans un moteur rapide s'effectue en quelques millièmes de seconde, de plus elle a lieu dans une chambre réduite et difficilement accessible ; aussi toutes les variables du phénomène ne sont pas actuellement bien définies. Nous allons, dans le chapitre qui suit, résumer les principales méthodes d'investigation utilisées ; cependant il nous a paru utile de faire, avant cela, un rapide rappel des notions acquises.

Combustion détonante :

Lorsque l'étincelle allume le mélange carburé, une flamme se forme à la bougie et se propage d'une manière régulière dans la chambre de combustion jusqu'à ce que toute la charge soit brûlée.

La combustion est dite normale si la charge restante brûle normalement dans le front de flamme initié par l'étincelle.

L'accroissement de la pression et de la température de la charge restante accélère le processus d'oxydation, surtout autour des noyaux de richesse convenable et de température élevée.

La combustion est dite détonante, si la charge restante, à un certain moment, s'enflamme spontanément en masse en un temps tellement court qu'il se produit un accroissement brutal de pression et de température dans la zone détonante. Le déséquilibre de pression entre la masse ayant brûlé en bloc (masse détonante) et celle ayant brûlé normalement produit une discontinuité de pression qui traverse la chambre à la vitesse du son correspondant aux conditions des gaz.

La libération brusque de l'énergie dans la zone détonante et la vibration des gaz qui s'ensuit produisent à l'extérieur du moteur des sons audibles de différentes fréquences.

S'il est prouvé, actuellement, que la combustion détonante est provoquée par l'inflammation spontanée de la charge restante, il n'y a pas de preuve directe concernant le processus du déclenchement.

Plusieurs explications, voire théories, se font jour :

La théorie de l'onde de détonation explique le phénomène en admettant une onde de choc produite par le front de flamme qui amène la charge restante déjà chaude à l'auto-allumage. La flamme secondaire née de cet auto-allumage est liée à l'onde de choc et se propage à une vitesse supersonique dans la zone détonante.

D'après une autre théorie : celle de l'auto-allumage, la charge restante, par suite de l'augmentation de pression et de température, est amenée à l'auto-allumage pur et simple. Celui-ci n'est pas simultané dans toutes les parties de la charge à cause de la non-homogénéité de cette dernière.

Cependant l'explication la plus souvent admise aujourd'hui est la suivante : exposée dans le cours de R. VICHNIEVSKY (23).

La flamme se propage à partir de l'étincelle en comprimant progressivement les tranches du mélange frais en avant du front de flamme. Ce mélange frais où la température croît très rapidement est le siège de transformations chimiques qui donnent naissance aux aldéhydes et peroxydes. L'accumulation des peroxydes favorise l'auto-accélération des réactions en avant du front de flamme et réduit le délai d'inflammation. Des foyers multiples apparaissent dans le mélange frais et ils entraînent l'auto-inflammation brutale de l'ensemble de la charge restante. La combustion s'effectuant dans un volume très réduit donne naissance à des pressions locales très élevées ; l'égalisation des pressions se fait par l'intermédiaire de vibrations sonores qui s'amortissent rapidement et augmentent les échanges aux parois.

Certains hydrocarbures tels que l'heptane, l'hexane, etc. donnent naissance à des peroxydes dans le mélange frais comprimé en avant du front de flamme. Les produits aromatiques tels que le benzène ne donnent pas lieu, en général, à la formation de peroxydes.

2. Méthodes d'étude.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, de nombreux expérimentateurs ont essayé de déterminer de façon aussi précise que possible la nature et la présence du phénomène de combustion détonante.

On peut grouper les méthodes utilisées en deux catégories :

- 1) Méthodes basées sur la mesure de la vitesse d'accroissement de pression dans le moteur (1) (2)
- (3) (11) (12) (14).

Parmi ces méthodes, nous pouvons citer :

- le *bouncing pin* ou aiguille sauteuse ;
- le miroir de Heldt ;
- la bobine de Taylor ;
- le *detonation meter* de la *Phillips Petroleum Company* (21).

- 2) Méthodes basées sur la détection des vibrations anormales provoquées par le cliquetis.
- a) Soit en étudiant directement les vibrations de pression dans la masse gazeuse (4) (10) (15). Les détecteurs le plus généralement utilisés sont :
- détecteurs à quartz ;
 - détecteurs à magnétostriction ;
 - détecteurs magnétiques ;
 - détecteurs photo-électriques.
- b) Soit en étudiant les vibrations mécaniques de la culasse qui en résultent. Ici encore, on retrouve les détecteurs à quartz, à capacité et les détecteurs magnétiques (5) (19).
- c) Soit en mesurant le bruit provoqué par les combustions anormales. Emploi de microphones et filtres acoustiques (5).

2. RÉSUMÉ DES TRAVAUX EFFECTUÉS A LA STATION CLAUDE-BONNIER SUR LA DÉTECTION DES VIBRATIONS DE LA CULASSE

Les essais effectués à la *Station Claude-Bonnier* en utilisant les méthodes électro-acoustiques ont montré que cette méthode paraît peu utilisable dans les conditions d'expérimentation au banc sur les moteurs polycylindriques (5).

Des études ont donc été entreprises en utilisant la détection de vibrations de la culasse. Dans ce but a été utilisé un capteur magnétique Philips ; les essais ont été réalisés sur un moteur C. F. R. Les enregistrements oscillographiques obtenus ont donné certains renseignements concernant les fréquences de vibrations. Celles-ci sont de l'ordre de 1 300 périodes par seconde dans les régions correspondant à la retombée des soupapes sur leurs sièges. Dans la région correspondant à la combustion dans le cas de la combustion accompagnée de cliquetis (essence à 65 octane), à ces vibrations de forte amplitude viennent se superposer des vibrations de faible amplitude et de fréquence beaucoup plus élevée, voisine de 6 200 Hz (13) (14).

Dans le cas d'un moteur polycylindrique, le capteur se trouvant à proximité des bougies d'allumage, celles-ci provoquent des parasites importants qui viennent troubler les mesures.

Ces premiers essais ont permis de tirer les renseignements suivants concernant le cliquetis :

1) Le cliquetis, vibration amortie de fréquence relativement élevée, constitue une impulsion excitant le système élastique formé par l'ensemble du bloc moteur ayant une fréquence de résonance beaucoup plus basse (dans le cas du moteur C. F. R.) ;

2) L'intensité du cliquetis peut être évaluée d'après l'amplitude du phénomène vibratoire excité ;

3) Le phénomène du cliquetis ne semble pas être reproductible d'un cycle à l'autre ;

4) L'apparition du phénomène du cliquetis a lieu au cours du cycle d'autant plus tard que la proportion d'isooctane dans le mélange est plus élevée.

Les conditions d'essais ont pu être améliorées par l'emploi d'un filtre de bande suivi d'amplificateurs.

Ce procédé a été utilisé pour détecter le cliquetis à sa naissance sur le moteur C. F. R. dans la méthode de classification des carburants F 4.

Les deux constatations ci-dessus 3) et 4) ont amené les services de l'*Institut Français du Pétrole* à mettre au point un appareillage susceptible d'étudier la répartition des amplitudes de cliquetis pour une essence d'indice d'octane donné ainsi que pour des essences de différents indices d'octane, d'une part, et, d'autre part, la position par rapport au point mort haut de l'apparition du cliquetis dans les mêmes conditions d'essais.

Le principe de base était de compter sur n cycles le nombre de fois où le cliquetis apparaissait en un point bien déterminé (d degrés après ou avant le point mort haut, d étant inférieur ou égal à 10°).

De même, pour les répartitions de l'amplitude, des filtres d'amplitude ne laissent passer que des impulsions ayant une valeur supérieure à une valeur fixée d'avance.

Il a été ainsi possible de donner une étude statistique complète du phénomène de cliquetis sans pour cela donner une hypothèse quant à son origine (6) (7) (18) (26).

3. MÉTHODES DE CLASSEMENT DES CARBURANTS

Nous avons donné dans le paragraphe précédent un rapide aperçu des méthodes d'étude de la combustion détonante ; malgré les difficultés d'étude, des méthodes de mesure de la valeur indétonante des carburants ont été élaborées par le *Cooperative Research Committee (C. F. R.)* ; nous en donnons ci-dessous les lignes essentielles (20).

1. Méthodes de laboratoire (méthodes standard).

Elles sont au nombre de quatre :

- 1) Méthode Research ou F_1 n° D 908 ;
- 2) Méthode Motor ou F_2 n° D 357 ;
- 3) Méthode Aviation ou F_3 n° D 614 ;
- 4) Méthode Supercharge ou F_4 n° D 909.

Toutes ces méthodes sont réalisées sur moteur Standard C. F. R. ; seules les conditions d'essais changent d'une méthode à l'autre.

La qualité indétonante du carburant est évaluée par comparaison à la détonation de carburants de référence (mélange d'isooctane et de *n*-heptane en proportion convenable) placés dans les mêmes conditions d'essais.

La notion d'indice d'octane est donc liée à celle de l'égalité du comportement, au point de vue de la détonation, d'un échantillon à étudier avec un carburant étalon dans un moteur de mesure.

Le critère de mesure est l'amplitude de la détonation (pour les méthodes F_1 , F_2 , F_4).

Un appareil électronique *le detonation meter* compare les amplitudes de cliquetis du carburant à mesurer à celles des mélanges de référence d'encadrement (21).

Nous donnons, en annexe, les principales conditions de mesures pour les méthodes de laboratoire Research et Motor.

2. Classement des carburants sur véhicule (17).

Parallèlement aux travaux du comité C. F. R., de nombreuses sociétés ont effectué des essais sur véhicules.

Plusieurs méthodes de déterminations des qualités indétonantes des carburants sur route ont été élaborées.

Parmi les plus utilisées citons :

Les méthodes Uniontown et Borderline.

a. Méthode Uniontown (modifiée), figure 1.

La méthode Uniontown modifiée donne une valeur indétonante du carburant indépendante de la vitesse : elle utilise le distributeur normal de la voiture et consiste tout d'abord à tracer une courbe d'étalonnage avec des mélanges de référence en faisant varier pour chaque mélange le calage initial de manière à obtenir, au cours de l'accélération, un cliquetis à peine audible. Puis on détermine le calage initial donnant un cliquetis à peine audible avec le carburant à étudier ; par report de cette valeur sur la courbe de référence, on détermine l'indice d'octane U. T. M. du carburant.

Il est nécessaire, pour faire ces mesures, que le moteur soit au préalable en conditions thermiques stables. Une vitesse constante des trois quarts de la vitesse maximale du véhicule pendant environ quinze à vingt minutes permet cette stabilisation.

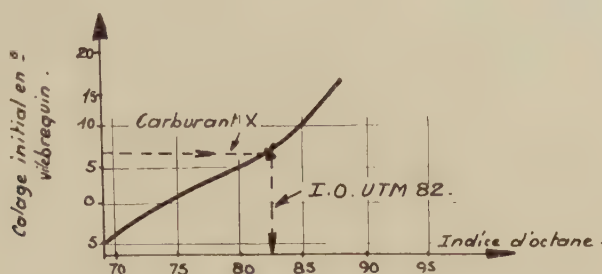


FIG. 1.

b. Méthode Bordeline (modifiée).

Elle consiste à déterminer, en fonction du régime du moteur, l'avance à l'allumage qui donne, en accélération, à pleine admission, un cliquetis à peine audible avec des mélanges de référence et le carburant étudié. Ces mesures se font lorsque le moteur a atteint son équilibre thermique. On obtient ainsi, d'une part, une grille de référence relative aux mélanges primaires et, d'autre part, la courbe correspondant au carburant étudié (fig. 2). Par interpolation de la courbe d'avance du carburant entre les courbes de la grille de référence, on déduit, pour chaque régime, l'indice d'octane route du carburant (fig. 3). L'ensemble des points constitue la courbe d'indice d'octane route en fonction de la vitesse de rotation du moteur.

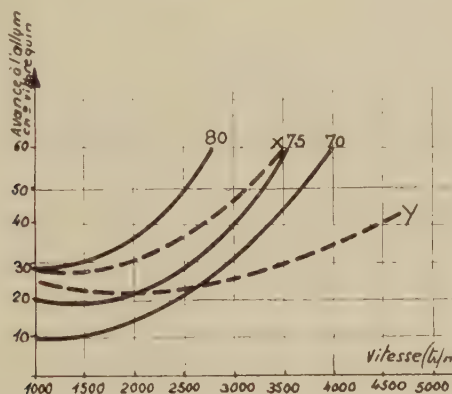


FIG. 2.

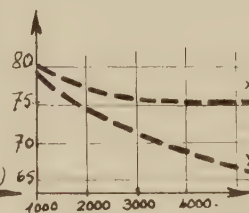


FIG. 3.

Nota :

Le principe même de la méthode exige que l'opérateur soit maître de l'avance à l'allumage pour assurer une intensité de cliquetis constante pendant les accélérations de la voiture. A cet effet, les valeurs de l'avance données par le distributeur du véhicule sont corrigées au moyen d'une commande hydraulique qui n'agit que sur le calage initial (16).

Dans le présent chapitre nous avons donné un résumé des travaux concernant l'étude de la combustion détonante ainsi que les méthodes standard en laboratoire et les méthodes d'essais permettant de classer les carburants sur véhicules.

De l'ensemble des travaux, il ressort les points suivants :

- a) Chaque méthode conduit à des indices d'octane différents. La différence entre les valeurs obtenues par les deux méthodes de laboratoire Research et Motor est appelée « sensibilité » du carburant. Les résultats d'essais sur route sont également différents des valeurs Research et Motor.

b) Les essais en laboratoire ne reproduisent pas les conditions de fonctionnement sur véhicules, d'où écart possible des résultats ; par ailleurs, les expérimentations sur route sont longues et en général coûteuses, de plus il y a des dispersions suivant les véhicules sur lesquels sont faites les déterminations.

Il a donc semblé intéressant d'analyser plus profondément le phénomène de détonation et d'essayer de trouver une corrélation entre les résultats obtenus par les diverses méthodes de mesure.

II. ÉTUDE DU DÉLAI DE DÉTONATION

Le cliquetis peut être caractérisé par deux facteurs :

- a) l'intensité de la détonation ;
- b) le point dans le cycle où débute la combustion anormale ou « délai ».

La presque totalité des méthodes de mesure est basée sur l'étude du premier critère, c'est-à-dire à partir de l'intensité de détonation.

La première partie de la présente étude a porté sur l'étude du délai de détonation, facteur qui devrait permettre une meilleure compréhension du phénomène de combustion.

1. Définition du délai de détonation.

L'analyse du phénomène de détonation peut être faite en se basant sur la théorie de la détonation par auto-allumage d'une charge oxydée (R. VICHNIEVSKY et K. KAROUT) (7) (23).

La flamme se propage à partir de l'étincelle en comprimant progressivement les tranches de mélange frais en avant du front de flamme. Ce mélange frais où la température croît très rapidement est le siège de transformations chimiques qui donnent naissance aux aldéhydes et peroxydes. Ceci constitue le temps $\mathfrak{T}_1$.

L'accumulation de peroxydes favorise l'auto-accélération des réactions en avant du front de flamme et réduit le délai d'inflammation. Des foyers multiples apparaissent dans le mélange frais et entraîne l'auto-inflammation brutale de l'ensemble de la charge restante (au temps $\mathfrak{T}_2$).

La combustion s'effectuant à très grande vitesse dans un volume très réduit donne naissance à des pressions locales très élevées.

Généralement, à partir du temps $\mathfrak{T}_1$, il apparaît une « flamme froide » qui est due à des molécules de formaldéhydes excitées et conjuguée avec une faible libération d'énergie.

Si la combustion de toute la charge se termine avec $\mathfrak{T}_1$, il n'y aura ni passage de flamme froide, ni auto-inflammation de la charge restante. La combustion sera donc, dans ce cas, normale.

Si, par contre, au temps $\mathfrak{T}_2$ la combustion n'est pas terminée, toute la charge non brûlée s'auto-

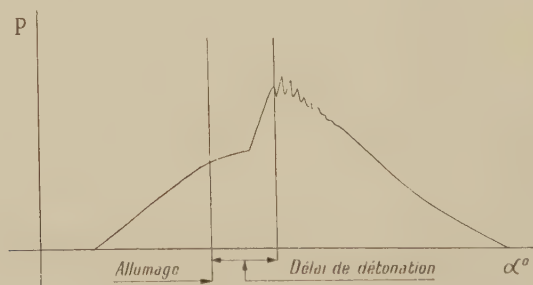


FIG. 4. — Délai de détonation.

inflammation. La combustion sera détonante ; l'intensité de la détonation devrait donc être proportionnelle à la quantité d'énergie non libérée au temps $\mathfrak{C}_2$.

Nous appellerons le délai compris entre l'allumage de la charge par l'étincelle $\mathfrak{C}_0$ et l'instant d'apparition de la détonation « délai de détonation » (fig. 4).

2. Résumé des travaux précédemment faits à l'Institut Français du Pétrole sur la durée de combustion normale.

D'après les travaux faits tant à l'étranger qu'à l'*Institut Français du Pétrole*, il semble que le phénomène vibratoire dû à la combustion anormale apparaît dans le cycle d'autant plus tard que l'essence alimentant le moteur possède un indice d'octane plus élevé (8) (9) (12) (27).

Des essais précédemment faits à l'*Institut Français du Pétrole* (thèse C. N. A. M. WEISSMANN 1952, thèse I. D. KAROUT 1955, thèse I. D. BANERJEA 1955), ont montré également que le délai de détonation semble varier avec la nature chimique du carburant (6) (7).

L'analyse statistique du délai de détonation a permis de classer les carburants en trois grandes familles :

Carburants à caractère :

- paraffinique ;
- aromatique ;
- et carburants contenant de l'alcool.

En réalisant des mélanges ayant le même indice d'octane A. S. T. M. F₂, mais dont les natures chimiques sont très différentes :

- 1) Benzène 50 % + isooctane 26 % + heptane 24 % ;
- 2) Toluène 20 % + isooctane 52,8 % + heptane 27,2 % ;
- 3) Alcool 20 % + isooctane 41,6 % + heptane 38,4 % ;
- 4) Essence tourisme 72 % + alcool 18 % + benzol 10 % ;

et en analysant de façon statistique les délais de détonation, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

a) Les carburants à base aromatique tels que benzène, toluène ont un délai de détonation très court et l'intensité du cliquetis, à la naissance de celui-ci, est relativement importante ;

b) Les carburants à base paraffinique, notamment les carburants primaires isooctane et *n*-heptane, ont un délai plus long que les précédents ; la suppression due à la détonation est moins importante que pour les aromatiques.

c) Les carburants contenant de l'alcool (tels que les super-ternaires) ont un délai relativement long et une intensité de cliquetis assez faible.

La variation de charge carburée participant à la détonation peut expliquer ces caractéristiques.

Dans le paragraphe suivant, nous avons étudié la variation de la fraction de charge participant à la détonation sur moteur C. F. R. dans les cas suivants :

- taux de compression variable, carburants de même nature ;
- taux de compression fixe, carburants de nature chimique différente.

1. INFLUENCE DU TAUX DE COMPRESSION ET DE LA NATURE CHIMIQUE DU CARBURANT UTILISÉ SUR LA FRACTION DE CHARGE BRÛLÉE AU MOMENT DE L'APPARITION DE LA DÉTONATION.

1. Détermination de la fraction de charge brûlée au moment de l'apparition de la détonation.

En admettant les hypothèses suivantes :

Le front de flamme est considéré comme une surface de discontinuité séparant les gaz frais et les gaz brûlés, d'épaisseur négligeable par rapport au parcours de la flamme ;

La vitesse de propagation est supposée identique dans toutes les directions et le front de flamme sera assimilé à une portion de sphère centrée sur la bougie d'allumage ;

Le régime d'écoulement résultant de l'expansion des gaz brûlés sera supposé établi à chaque instant ;

Les échanges de chaleur aux parois seront supposés négligeables ;

L'équilibre physico-chimique sera supposé réalisé à chaque instant dans les gaz frais et dans les gaz brûlés ;

La vitesse de propagation sera supposée suffisamment faible pour que la pression puisse être à chaque instant considérée comme uniforme dans tout le volume de la chambre de combustion ;

Et en appliquant la méthode Ribaud dans le cas de la combustion à volume constant, B. SALÉ (24) a établi la formule de calcul suivante :

$$P_v = P_A v_A + x (\gamma_m - 1) MQ' - (\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v_v} P dv$$

qui devient, lorsque l'on tient compte de la chaleur perdue aux parois :

$$P_v = P_A v_A + (\gamma_m - 1) [xMQ(1-f) + (q_v)_{t_A}^t] - (\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v_v} P dv$$

Dans ces expressions on a :

P : pression absolue ;

v : volume à l'instant considéré ;

$P_A v_A$: pression et volume initiaux ;

γ_m : rapport moyen des chaleurs spécifiques ;

x : fraction en masse des gaz brûlés à l'instant considéré ;

x' : fraction de la quantité de chaleur cédée aux gaz, compte tenu des pertes aux parois ;

M : masse totale du mélange ;

Q : chaleur de réaction rapportée de l'unité de masse du mélange ;

f : état des gaz frais à l'instant considéré ;

q_v : quantité de chaleur cédée aux gaz par les parois.

L'expression entre crochets représente la quantité de chaleur totale fournie à la masse gazeuse entre les instants t_A et t , somme algébrique de la quantité de chaleur dégagée par la réaction et de la quantité de chaleur Q_v reçue aux parois.

Mais, les échanges aux parois étant relativement complexes, pour le calcul on est amené à poser :

$$xMQ(1-f) + (q_v)_{t_A}^t = x'MQ_s$$

où MQ_s , quantité de chaleur positive maximale effectivement reçue par les gaz au cours du cycle, peut être déduite directement des résultats expérimentaux.

On a dans tous les cas $x' \geq x$.

L'écart entre x' et x peut être évalué à 5 à 10 % lorsque x' vaut environ 1. Cette cause d'erreur pert beaucoup de son importance dans les mesures comparatives (c'est le cas présent).

Le calcul de $(\gamma_m - 1)$, à partir du diagramme, s'effectue aisément en faisant $x' = 1$. On a alors :

$$(\gamma_m - 1) MQ_s = P_{F'} v_{F'} - P_A v_A + (\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v_{F'}} P dv$$

Le point F' correspond à l'instant où l'apport de chaleur cesse d'être positif. D'après ce qui précède, t_F est antérieur à l'instant t'_F (fin de combustion) dans l'intervalle $t'_F - t_F$, la quantité de chaleur libérée par la combustion, est inférieure aux pertes.

On a finalement :

$$x' = \frac{(\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v''} P dv + P_v - P_A v_A}{(\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v'_{F'}} P dv + P_{F'} v'_{F'} - P_A v_A}$$

Il suffit de calculer la quantité :

$$(\gamma_m - 1) \int_{v_A}^{v''} P dv + P_v - P_A v_A = f(t)$$

en différents points de la courbe de pression.

$f(t)$ passe par un maximum pour $t = t'_F$; on a ensuite x' en chacun des points considérés en divisant $f(t)$ par $f(t'_F)$.

La valeur de γ_m peut être calculée, mais le choix de la valeur de γ_m influe relativement peu. (Démonstration faite par B. SALÉ.)

On pourra donc adopter la valeur de 1,27 pour γ_m .

La fraction brûlée ne varie pas linéairement avec la pression ; lorsque la combustion se termine après le point mort haut (comme c'est souvent le cas), le maximum de la courbe pression-angle de rotation se situe toujours avant le point où cesse l'apport de chaleur ($x' = 1$). Dans l'intervalle compris entre le maximum et le point F' , l'accroissement de pression dû à la combustion est inférieur en valeur absolue à celui, négatif, dû au mouvement du piston.

Nous avons, dans le paragraphe qui suit, appliqué les formules exposées ci-dessus pour étudier la variation de la charge brûlée et par suite de la charge restante contribuant à la détonation en fonction du taux de compression sur moteur C. F. R. (A. S. T. M.).

2. Détermination expérimentale de la fraction de charge brûlée.

Les essais ont été réalisés sur le moteur C. F. R. (A. S. T. M.).

Dans le mode de calcul utilisé ici, l'expression $\int_{v_A}^{v''} P dv$ est effectuée suivant la méthode des trapèzes.

La valeur de 1,27 pour γ_m a été utilisée.

Les volumes sont exprimés en pourcentage de la cylindrée :

$$\frac{100 v}{c} = \frac{100}{\rho - 1} + S$$

S déplacement du piston exprimé en pourcentage de la course ; nous avons, pour chaque angle, utilisé la table donnant la valeur de S en fonction de l'angle de rotation pour la valeur de λ , rapport $\frac{\text{bielle}}{\text{course}}$, qui est dans le cas du moteur considéré de $\frac{10''}{41/2''} = 2,23$.

Il est évident que cette méthode de calcul fait appel à plusieurs approximations :

- approximation relative aux échanges thermiques ;
- pression uniforme dans toute la chambre de combustion ;
- gaz frais et brûlés en état d'équilibre thermodynamiques à l'instant considéré ;

— chaleurs spécifiques constantes avec la température et égales à une même valeur moyenne ($\gamma_m = 1,27$) pour les gaz brûlés et les gaz frais.

Les erreurs dues à ces approximations sont faibles, ainsi que l'a démontré B. SALÉ (24) ; de plus il s'agit ici de comparer des valeurs de α' pour des angles considérés pour des marches avec et sans cliquetis, les erreurs sont de ce fait négligeables.

Mesures réalisées.

Les mesures ont été faites dans les conditions suivantes :

Moteur C. F. R. (A. S. T. M.) réglé dans les conditions standard suivantes :

- 1) Niveau 75 N. O. (taux de compression 5,92) ;
- 2) Niveau 85 N. O. (taux de compression 6,33) ;
- 3) Niveau 95 N. O. (taux de compression 7,06) ;
- 4) Niveau 50 N. O. (taux de compression 5,38).

Les carburants suivants ont été utilisés :

- Cas 1. — a) Mélange 75 % isooctane + 25 % *n*-heptane ;
 b) Isooctane pur ;
 c) Mélange X_8 (55,8 % de X_8 + 44,2 % de *n*-heptane) ;
 d) Mélange toluène (57,6 % de toluène + 42,4 % de *n*-heptane).
- Cas 2. — a) Mélange 85 % isooctane + 15 % *n*-heptane ;
 b) Isooctane pur ;
 c) Mélange X_8 (65 % de X_8 + 35 % *n*-heptane) ;
 d) Toluène (66 % de toluène + 34 % de *n*-heptane).
- Cas 3. — a) Mélange 95 % iso-octane + 5 % *n*-heptane ;
 b) Isooctane pur ;
 c) Mélange X_8 (76,6 % de X_8 + 23,4 % *n*-heptane) ;
 d) Toluène (76 % de toluène + 24 % *n*-heptane).
- Cas 4. — a) Mélange 50 % isooctane + 50 % heptane ;
 b) Isooctane pur.

Pour chaque essai, des diagrammes pression = $f(\alpha)$ ont été relevés à l'aide d'un monographe à quartz.

La figure 10 montre le moteur C. F. R. équipé des divers appareils permettant le relevé des diagrammes de pression et les repérages angulaires.

Le tableau I montre un exemple de feuille de calculs de la fraction brûlée en fonction de l'angle de rotation pour les divers taux de compression utilisés dans le cas de l'utilisation de l'isooctane, c'est-à-dire combustion sans détonation.

Ces calculs ont été faits à partir des diagrammes déterminés dans les conditions exposées ci-dessus (diagramme de $P = f(\alpha)$ (fig. 5)). La figure 6 donne la variation de la charge brûlée en fonction de l'angle de rotation pour les quatre taux de compression considérés.

En considérant les diagrammes relevés aux quatre taux de compression définis plus haut, en alimentant le moteur avec les carburants primaires de 75, 85, 95 et 50 N. O. ; nous pouvons déterminer l'angle où commence le cliquetis (fig. 7) et en reportant ces valeurs sur les courbes obtenues à partir des combustions sans détonation (fig. 5), nous pouvons déterminer la valeur de la fraction de charge participant à la combustion anormale.

Le tableau II ci-dessous résume les résultats de mesure et la courbe 8 donne la valeur de la fraction de charge participant à la détonation en fonction du taux de compression pour les réglages standard Research Method pour les différents indices d'octane des mélanges primaires utilisés.

On voit que, dans les conditions de fonctionnement standard Research Method, la masse de mélange participant à la combustion anormale varie dans d'assez larges proportions en fonction des diverses compressions.

TABLEAU I.

CARBURANT : ISOCTANE ; RICHESSE : 1,1 ; TAUX : 5,92 ; VITESSE : 600 tr/min ; AVANCE A L'ALLUMAGE : 13° C ; MICROMÈTRE : 0,415.

(degrés)	$\frac{100 v}{C}$	P (kg/cm ²)	$\frac{100}{C} P v - P_A v_A$	$\frac{100 A v}{C}$	P_m (kg/cm ²)	$\Sigma \frac{100}{C} P_m \Delta v$	$(\gamma_m - 1) \Sigma$ ⁽¹⁾	$\varphi(\alpha)$ ⁽²⁾	α'
— 13	22,10	10	0	— 0,76	10,3	0	0		
— 10	21,34	10,6	5,5	— 0,71	11,3	— 7,82	— 2,11	+ 3,4	0,0064
— 5	20,63	12,0	27,0	— 0,23	12,8	— 16,72	— 4,52	22,48	0,046
0	20,4	13,6	51,0	+ 0,23	15,5	— 19,67	— 5,28	45,72	0,084
5	20,63	17,4	138,5	+ 0,71	20,1	— 16,10	— 4,34	134,16	0,247
10	21,34	22,8	275,0	+ 1,14	26,15	— 1,82	— 0,49	274,51	0,505
15	22,48	29,5	443,0	+ 1,58	30,2	+ 28,48	+ 7,72	450,72	0,835
20	24,06	30,8	521,0	+ 2,01	28,9	+ 76,48	+ 20,6	441,6	0,82
25	26,07	27,0	485	+ 2,42	25,5	+ 134,68	+ 36,4	521,4	0,962
30	28,49	24,0	465	+ 5,92	21,55	+ 196,38	48,2	513,2	0,95
40	34,41	19,1	435	+ 7,13	17,25	+ 323,38	87,2	522,2	0,965
50	41,54	15,4	420	+ 8,06	13,75	+ 446,58	120,5	540,5	1
60	49,60	12,1	377	+ 8,66	10,95	+ 557,58	155,6	532,6	
70	58,26	9,8	357	+ 8,91	9,1	+ 652,18	175,8	532,8	
80	67,17	8,4	343	+ 8,84	7,6	+ 723,28	198,2	531,2	
90	76,01	6,8	297	+ 8,52	6,3	+ 786,68	212,2	509,2	
100	84,53	5,8	270						

⁽¹⁾ $\Sigma \frac{100}{C} P_m \Delta v$.⁽²⁾ $\varphi(\alpha) \equiv (\gamma_m - 1) \Sigma P \Delta v + P_v - P_A v_A$.

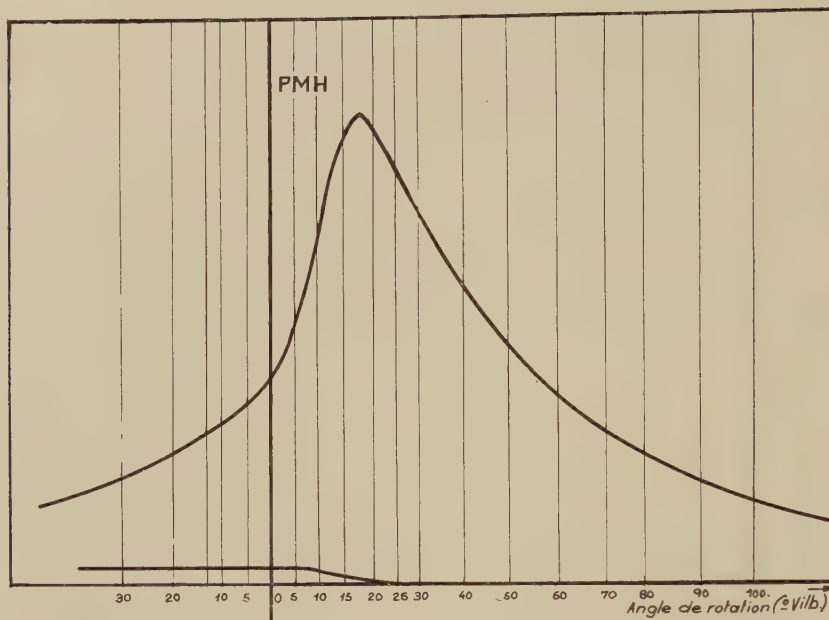


FIG. 5. — Diagramme $P = f(\alpha)$. Carburant iso-octane. Taux de compression : 5,92.

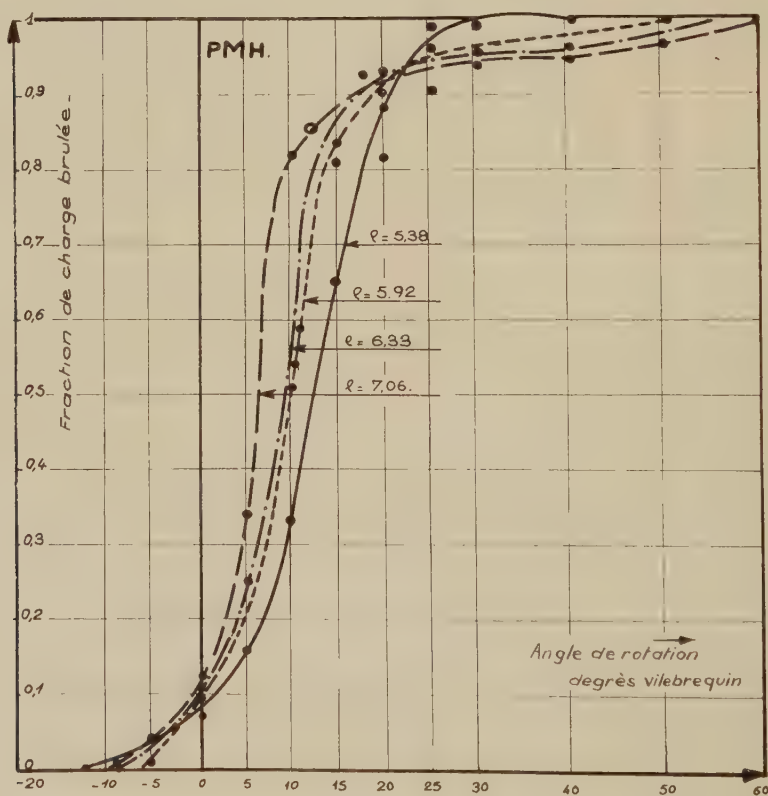
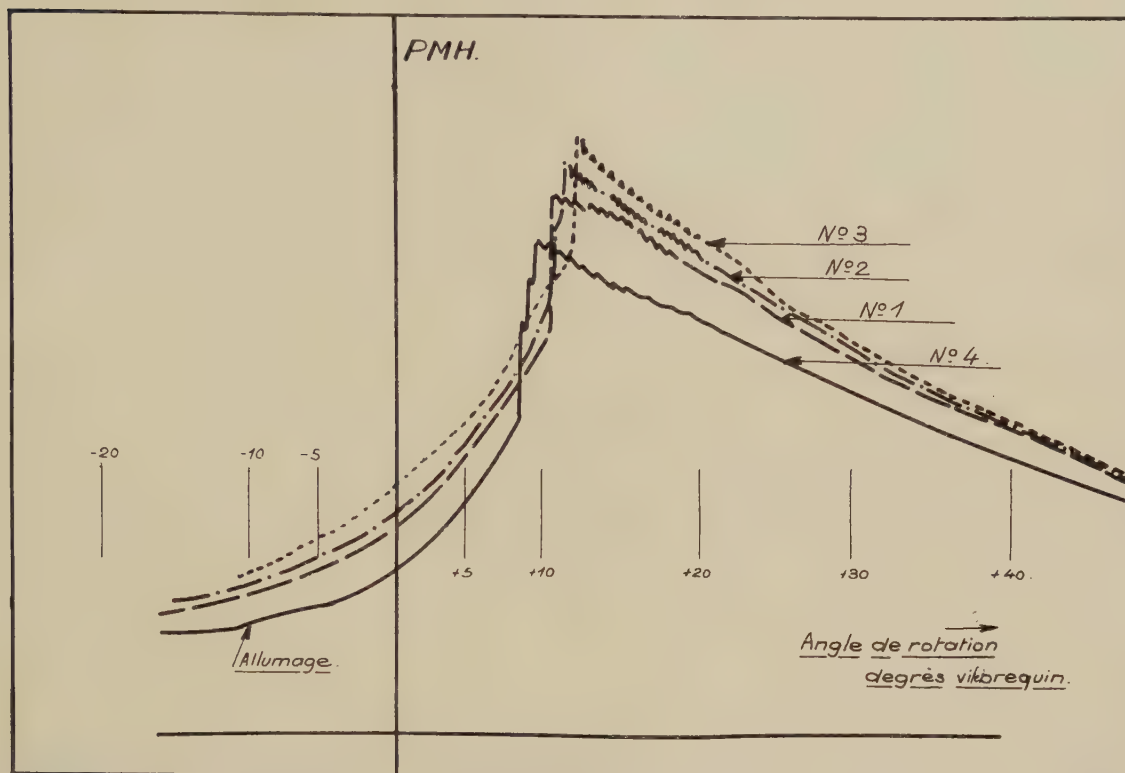


FIG. 6. — Durée de combustion.

FIG. 7. — Diagramme $P = f(\alpha)$. Intensité de détonation standard.

	ISOOCTANE + <i>n</i> -HEPTANE (%)		TAUX
1	75	25	5,92
2	85	15	6,33
3	95	5	7,06
4	50	50	5,38

Cette remarque avait déjà été faite pour le fonctionnement en Motor Method par R. VICHNIEVSKY et B. SALÉ (15).

L'intensité du cliquetis est donc, dans la méthode Research, comme dans la méthode Motor, une fonction du taux de compression, pour les réglages standards du moteur.

On remarque également, figure 9, que la nature du carburant intervient et que, pour un même taux de compression, les hydrocarbures aromatiques, qui ont une vitesse de combustion plus grande, commencent à détoner plus tôt dans le cycle que les paraffiniques.

Les résultats de mesures, trouvés ici, confirment donc que les remarques générales énoncées au début de ce chapitre, à savoir que :

l'instant dans le cycle où apparaît le cliquetis est une caractéristique aussi importante que l'amplitude de la détonation et qu'une méthode de mesure, basée sur ce critère, semble intéressante.

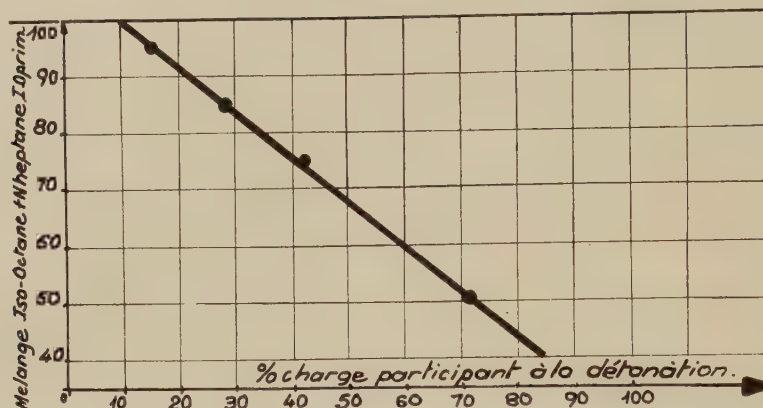


FIG. 8. — Fraction de charge participant à la détonation en fonction du taux de compression, pour les conditions Standard Research Method pour les différents mélanges primaires utilisés.

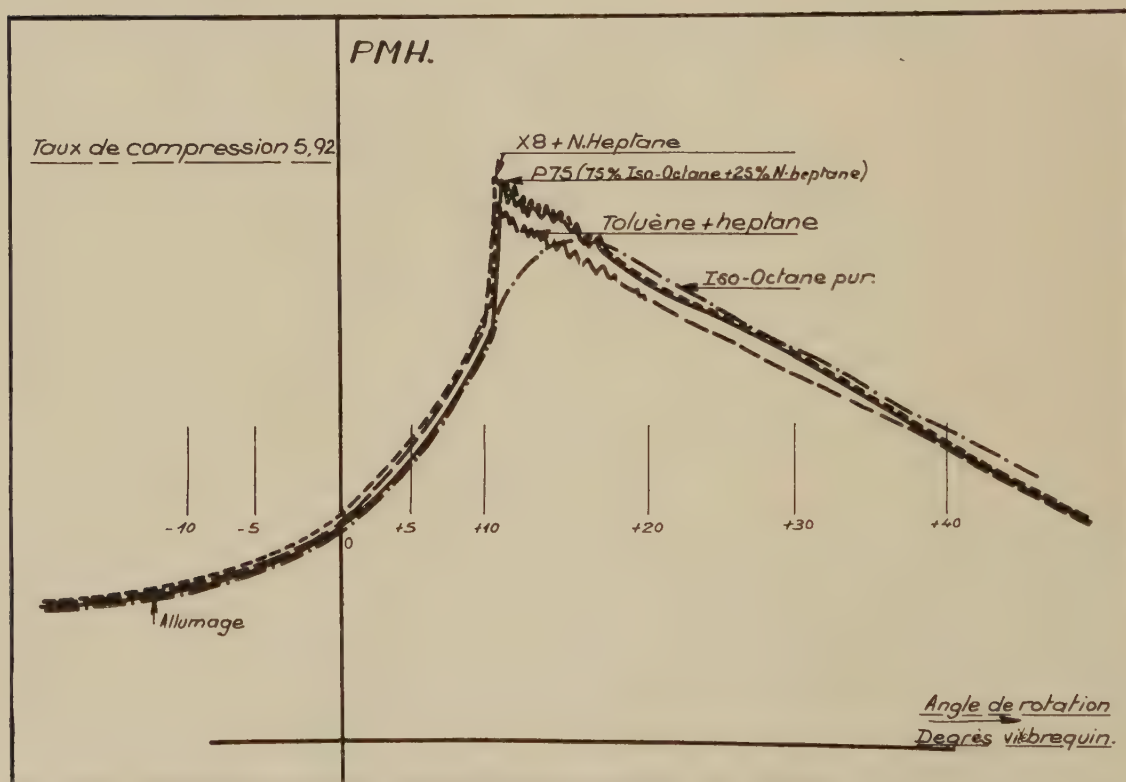


FIG. 9. — Diagramme $P = f(\alpha)$. Intensité de détonation standard.

TABLEAU II.

FRACTION DE CHARGE PARTICIPANT A LA COMBUSTION.

CARBURANT (isooctane + <i>n</i> -heptane) (%)	ANGLE DE DÉBUT DU CLIQUETIS (DEGRÉS VILEBREQUIN)	FRACTION α (%)
50 + 50	9	71
75 + 25	10,7	42
85 + 15	11,4	27,5
95 + 5	12,15	15

L'analyse complète du phénomène de détonation et du délai est assez longue et il n'est pas possible d'effectuer des mesures de délai simultanément aux déterminations d'indice d'octane sur moteur C. F. R. A. S. T. M.

Pour pouvoir effectuer des mesures sur un plus grand nombre d'échantillons, nous avons réalisé et mis au point un indicateur de délai basé sur une méthode d'intégration ; cet indicateur se trouve actuellement en service à l'*Institut Français du Pétrole* sur le moteur A. S. T. M. F₁.



FIG. 10. — Moteur C. F. R. équipé des appareils permettant le relevé des diagrammes de pression et les repérages angulaires.



FIG. 11. — Capteur magnétique σ : 45 mm ; hauteur : 62 mm.

2. MESUREUR DE DÉLAI DE DÉTONATION

Rappelons que le délai de détonation est la distance angulaire séparant le point d'allumage de la première vibration due à la détonation.

1. Principe de l'appareil.

Une première solution (fig. 12) consisterait à faire débiter par une bascule électrique un courant I , constant pendant l'écart angulaire séparant le point d'allumage du début de la détonation. Une intégration simple permettrait d'obtenir un courant moyen, fonction de l'écart angulaire, donc fonction du délai de détonation.

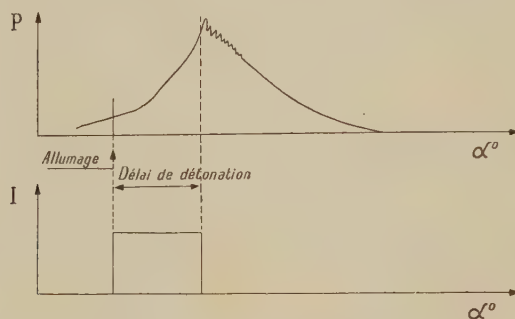


FIG. 12. — Délai de détonation.

Cette solution, séduisante par sa simplicité, n'est pas applicable en pratique, car les variations de délai de détonation (variation de l'ordre du degré de rotation du vilebrequin) sont faibles par rapport à la distance angulaire séparant le point d'allumage de la détonation (de l'ordre de 15° vilebrequin). La précision des mesures serait donc nettement insuffisante pour différencier les divers carburants.

La solution adoptée, quoique plus compliquée, permet d'obtenir la précision nécessaire.

Une bascule électronique est déclenchée par un signal provoqué par la première vibration due au cliquetis et arrêtée par un signal fixe dans le cycle et dont la position est réglable.

L'écart angulaire des deux signaux est de cette façon réglable et peut être ramené à des valeurs permettant une différenciation aisée des délais de détonation des divers carburants.

La valeur absolue du délai peut être connue en retranchant de l'angle allumage-signal magnétique la valeur de l'angle détonation-signal magnétique (fig. 13).

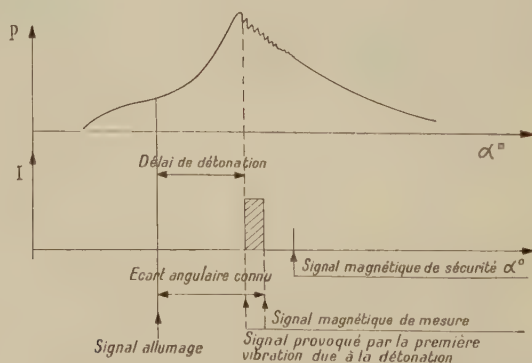


FIG. 13. — Principe du mesureur de délai de détonation.

2. Réalisation du mesureur de délai de détonation.

Le signal fonction de la détonation est obtenu à partir du signal fourni par le capteur à magnétostriction utilisé par le *detonation meter* (21) sur moteur C. F. R. (la mesure du délai de détonation et de l'indice d'octane du carburant se faisant simultanément, le capteur à magnétostriction est utilisé pour les deux appareils de mesure).

Le schéma de principe de ce capteur est donné à la figure 14.

Le signal réglable d'arrêt de la bascule électronique est fourni par un capteur magnétique dont la position angulaire, réglable, est repérée sur un disque gradué (schéma du capteur : fig. 11).

L'appareil électronique dont le schéma est donné figure 19, peut être décomposé en trois parties :

1) Mise en forme du signal fonction de la détonation :

Tubes EF 40 (1), EF (40) (2) ;

Thyratron 884 (3) ;

Tube 6 AU 6 (4).

2) Mise en forme du signal issu du capteur magnétique :

Tube ECC 40 (5) ;

Thyratron 884 (6) ;

Tube 6 AU 6 (7).

3) Bascule électronique (tube ECC 40) (8) et système d'intégration de mesure (9).

De plus un deuxième capteur magnétique, placé à quelques degrés après le premier capteur, permet de bloquer la balance au cas où le cliquetis n'apparaîtrait dans le cycle que passé le premier capteur de mesure ; ce phénomène se produit quelquefois lorsque le cliquetis est très régulier.

Le circuit de mise en forme est constitué par le tube ECC 40 (10).

L'étalonnage de l'appareil se fait en remplaçant le signal issu du capteur à magnétostriction par le signal d'un troisième capteur magnétique de position angulaire connue. Dans ce dernier cas, la lecture obtenue est le double de l'élongation normale, car il y a un signal à tous les tours ; on tient compte de ce fait lors de l'étalonnage.

Les figures 15 à 18 montrent les signaux obtenus aux différents points de contrôle du mesureur de délai de détonation.

Pour obtenir une bonne reproductibilité de mesure, il a été nécessaire de stabiliser l'alimentation du mesureur de délai de détonation.

La figure 20 donne le schéma de principe de cette alimentation.

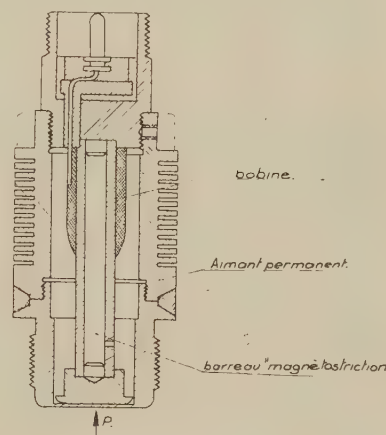


FIG. 14.
Détecteur à magnétostriction.

3. MESURES ET RÉSULTATS

Plusieurs expérimentations différentes ont été effectuées :

a) Étude de carburants ayant des caractéristiques semblables aux carburants commerciaux usuels ;

b) Étude de carburants de compositions chimiques très différentes ;

c) Variation du délai de détonation en fonction de certains paramètres de mesure, en particulier de la température des mélanges carburés.

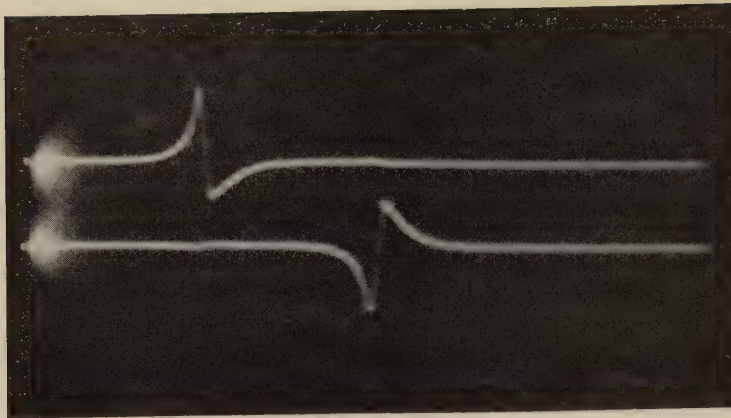


FIG. 15. — Signaux fournis par les capteurs magnétiques de référence (-3° ; $+16^{\circ}$ vilebrequin).

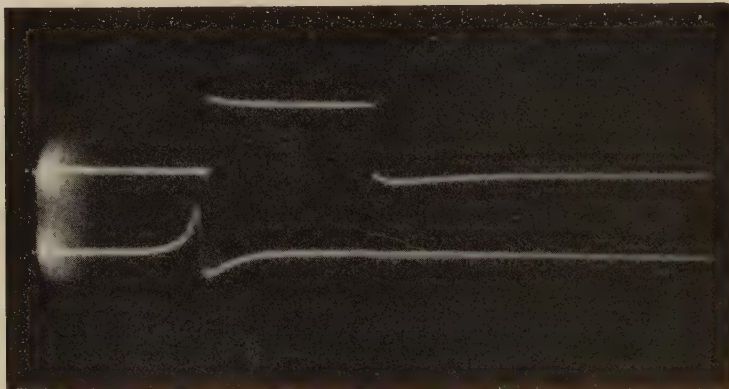


FIG. 16. — Signal provenant du capteur magnétique -3° ; ouverture de la balance de référence.

FIG. 17. — Balance de référence et repérage angulaire (5° et 10° vilebrequin).

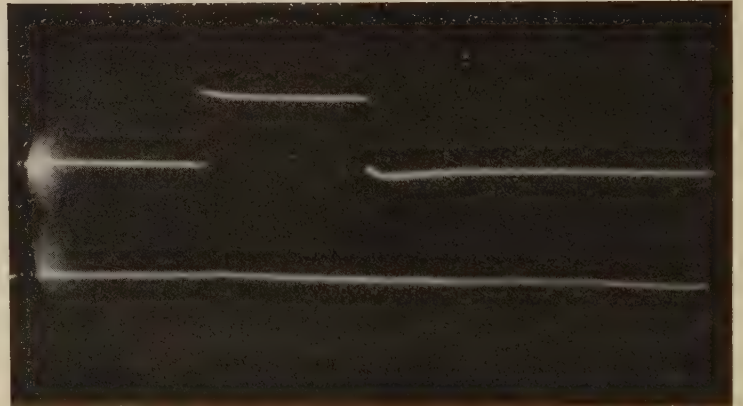
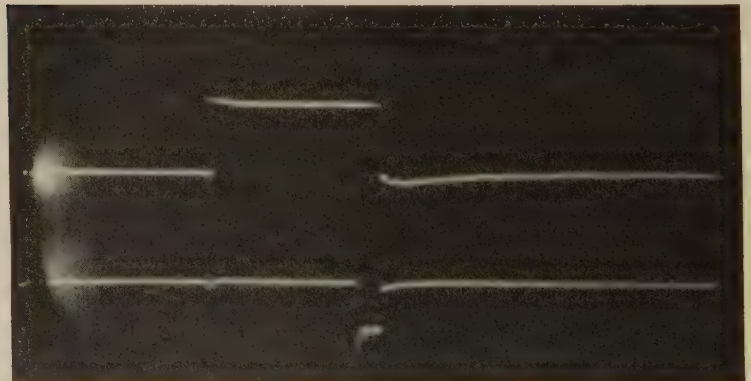


FIG. 18. — Balance de référence, balance de délai.



Échelle des temps :

0 5 10 15 20 ms

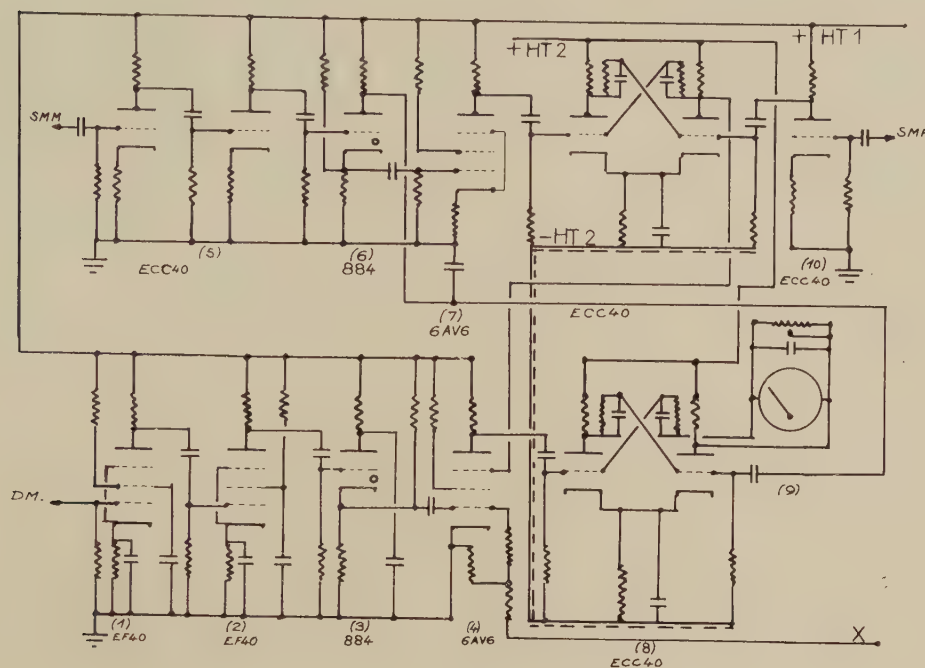


FIG. 19. — Schéma du délaimeètre.

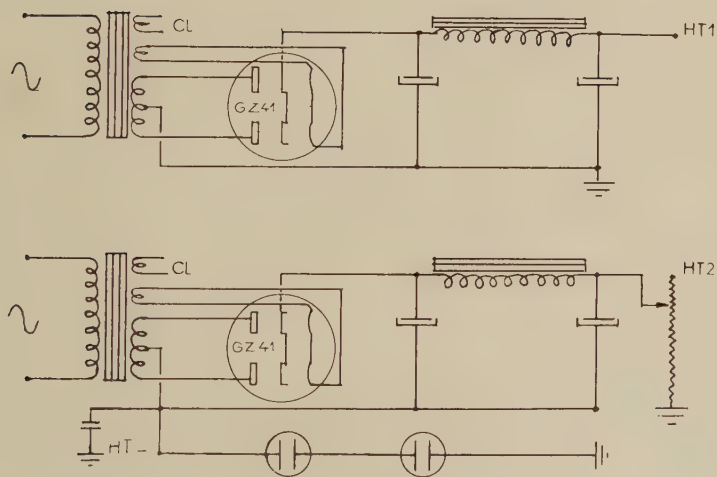


FIG. 20. — Alimentation stabilisée.

1. Mesure de la valeur indétonante d'un carburant en fonction du délai de détonation.

Rappelons que la méthode de mesure A. S. T. M. est basée sur la comparaison de l'amplitude de vibration due au cliquetis pour l'échantillon à étudier, à l'amplitude obtenue avec les carburants de référence (20).

Nous avons pensé que la même manière de classer les carburants pouvait se concevoir mais en utilisant comme critère de mesure non l'amplitude mais le délai de détonation. Ainsi deux carburants ayant même délai de détonation dans des conditions de mesure identiques auront même qualité indétonante.

Nous utiliserons l'abréviation N. O. D. (nombre d'octane délai) pour qualifier la valeur indétonante du carburant déterminée par la méthode exposée ci-dessus.

2. Résultats d'essais.

a. Étude de carburants usuels.

Comparaison de la valeur de l'indice d'octane A. S. T. M. (F_1) et de la valeur de N. O. D.

Une première expérimentation a consisté à comparer les valeurs de N. O. D. que l'on pouvait mesurer simultanément à la détermination d'indices d'octane A. S. T. M. faits sur moteur C. F. R. par la Research Method. Quelque trente carburants différents ont ainsi été étudiés ; ces carburants provenaient d'origine très diverses, mais leurs natures chimiques se rapprochaient de carburants usuels. Nous comptons ainsi pouvoir vérifier la corrélation existant entre les deux méthodes de qualification des carburants en utilisant des hydrocarbures usuels.

Le tableau III donne les valeurs ainsi trouvées.

Un exemple de feuille d'essais est donné (fig. 21).

La figure 22 est établie d'après les valeurs contenues dans le tableau III.

En abscisses figurent les indices d'octane (Research Method) déterminés sur moteur C. F. R. A. S. T. M. dans les conditions standard.

En ordonnées nous avons porté les valeurs de N. O. D. (nombre d'octane déterminé d'après le délai de détonation).

Pour chaque carburant, un point figuratif est fonction des deux valeurs déterminées simultanément sur le moteur.

On remarquera que presque tous les carburants se placent dans la zone ± 1 point d'octane, c'est-à-dire dans la zone de précision des méthodes standard.

Il semblerait que la méthode de classement des carburants, en prenant comme critère le délai de détonation, soit aussi valable que celle qui utilise comme critère l'amplitude des vibrations ou le $\frac{dp}{dt}$ (montée de pression dans le moteur).

Remarque :

Les expériences dont nous donnons ici les résultats ont été faites au cours de l'année 1958 ; nous avons, dès cette époque, émis l'hypothèse d'une méthode de mesure basée sur la mesure du délai de détonation. Le comité A. S. T. M. s'est également penché sur cette question et actuellement il semble que l'on s'oriente vers un changement des méthodes standard ; ceci afin d'obtenir plus de précision surtout pour la détermination des indices d'octane des carburants « super » et « super + » dont les valeurs dépassent 100 d'octane.

Les nouvelles méthodes, en préparation, seraient basées sur la mesure du délai de détonation à l'aide d'un indicateur de délai basé sur les mêmes principes que celui que nous avons utilisé.

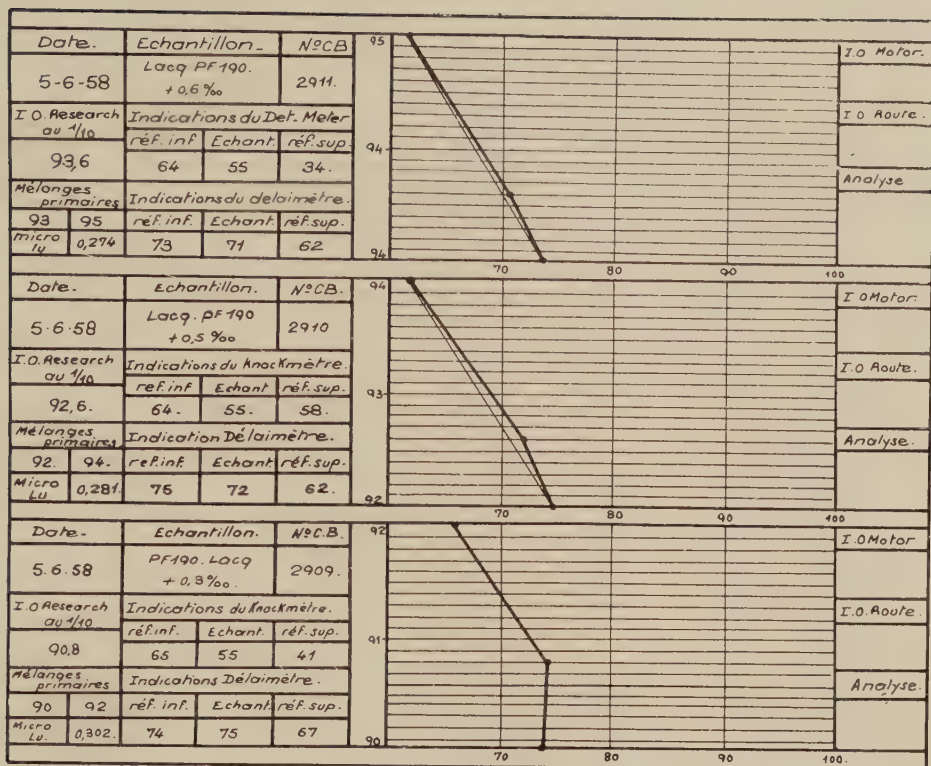


FIG. 21.

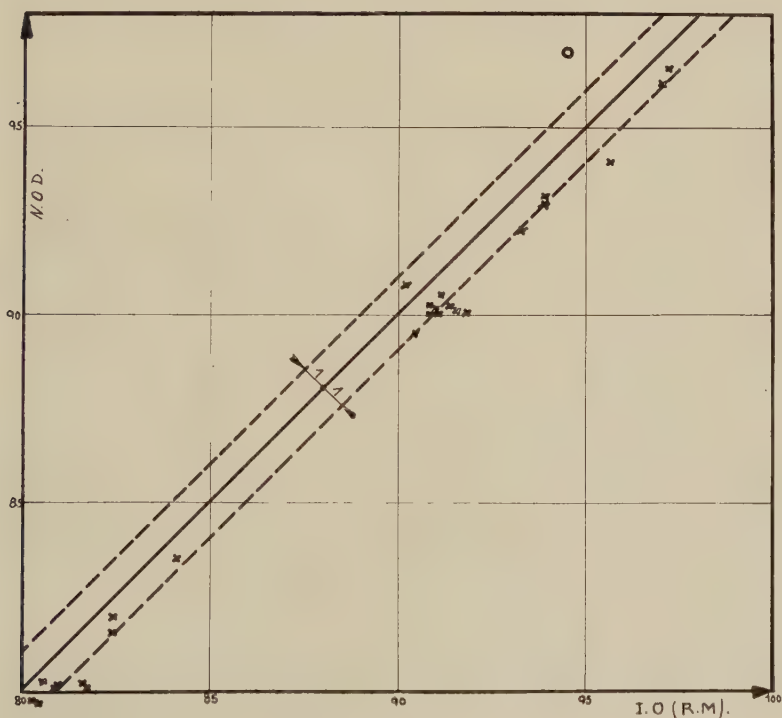


FIG. 22. — Comparaison des valeurs de N. O. D. et des indices d'octane (R. M.).

TABLEAU III.

N° DE L'ÉCHANTILLON	INDICE D'OCTANE A. S. T. M. RESEARCH METHOD	N. O. D.
2890	95,6	94,0
2889	91,8	90,0
2888	95,5	97,0
2893	81,4	80,2
2892	82,4	82,0
2891	90,8	90,2
2871	92,0	91,1
2870	82,4	81,5
2868	81,6	80,2
2858	81,6	80,1
2867	80,5	80,3
2866	97,2	96,5
2842	84,1	83,5
2814	93,9	93,0
2777	91,4	90,2
2845	93,9	93,1
2844	93,3	92,1
2843	91,5	91,1
2807	90,8	90,2
2786	91,0	90,0
A	91,5	90,2
B	90,4	89,5
2808	81,0	80,2
2799	90,9	90,1
2798	80,2	79,5
C	91,2	90,5
2784	80,3	79,5
2785	90,7	90,2
2799	90,9	90,0

Mesures faites entre les mois d'avril et d'octobre 1958.

b. Étude de carburants de compositions chimiques très différentes.

Deux séries de carburants ont été comparées aux carburants de référence (ces derniers étant des paraffiniques purs) :

- 1) mélanges contenant 20 % d'aromatiques (toluène) ;
- 2) mélanges contenant 35 % d'alcool éthylique.

Ces mélanges ont été réalisés de façon à avoir :

- a) des indices d'octane (F_1) croissant et compris entre 75 et 95 ;
- b) des densités comparables aux carburants usuels (0,725).

Le tableau IV donne les valeurs des indices d'octane F_1 relevés par la méthode standard et les valeurs de N. O. D. relevées simultanément (colonnes 2 et 3).

On remarque que, pour les carburants contenant des hydrocarbures aromatiques, l'indice d'octane F_1 est très peu différent du nombre N. O. D. ; cependant, les carburants sont tous dépréciés légèrement par la méthode de mesure du N. O. D.

Par contre, pour les carburants contenant de l'éthanol, cette différence est plus importante.

Nous avons ensuite comparé les carburants en maintenant la hauteur de cuve, c'est-à-dire la richesse constante. Rappelons que, dans la méthode A. S. T. M. de mesure de l'indice d'octane F_1 ,

TABLEAU IV.

ÉTUDE DE CARBURANTS A NATURES CHIMIQUES DIFFÉRENTES.

NATURE DU CARBURANT	INDICE D'OCTANE RESEARCH METHOD	N. O. D.	INDICE D'OCTANE F ₁ RICHESSE CONSTANTE	N. O. D. RICHESSE CONSTANTE
20 % de toluène				
50 % isooctane + 30 % <i>n</i> -heptane ..	75,3	74,3	75,4	73
55 % isooctane + 25 % <i>n</i> -heptane ..	80,0	79,6	80,3	79,6
60 % isooctane + 20 % <i>n</i> -heptane ..	84	84,0	85,0	83,0
65 % isooctane + 15 % <i>n</i> -heptane ..	89,8	89,2	90,0	89,6
71 % isooctane + 9 % <i>n</i> -heptane ..	95,2	93,8	95,3	91,0
35 % d'alcool éthylique +				
11 % isooctane + 45 % <i>n</i> -heptane ..	72,8	72,4	80,8	80,0
19 % isooctane + 46 % <i>n</i> -heptane ..	80,0	80,4	85,0	85,4
26 % isooctane + 39 % <i>n</i> -heptane ..	86,3	85,4	90	90,2
33 % isooctane + 32 % <i>n</i> -heptane ..	91,9	90,6	94,0	93,8
40 % isooctane + 25 % <i>n</i> -heptane ..	96,9	95,6	98,0	99,3

la richesse adoptée est celle qui donne l'intensité de cliquetis maximale ; or, en utilisation, la richesse obtenue sur véhicule ne varie qu'en fonction de la densité du carburant mais non en fonction de la détonation.

Les valeurs trouvées sont consignées dans les colonnes 4 et 5 du tableau IV.

On peut remarquer que :

a) dans le cas de carburants contenant des hydrocarbures aromatiques, cette mesure ne change pas beaucoup la valeur de l'indice d'octane ; la valeur du N. O. D. est légèrement dépréciée ;

b) dans le cas des carburants contenant de l'alcool, la valeur de l'indice d'octane est très fortement influencée (augmentation moyenne 4 à 5 points) ; remarquons que cette augmentation est d'autant plus forte que l'indice d'octane est plus bas.

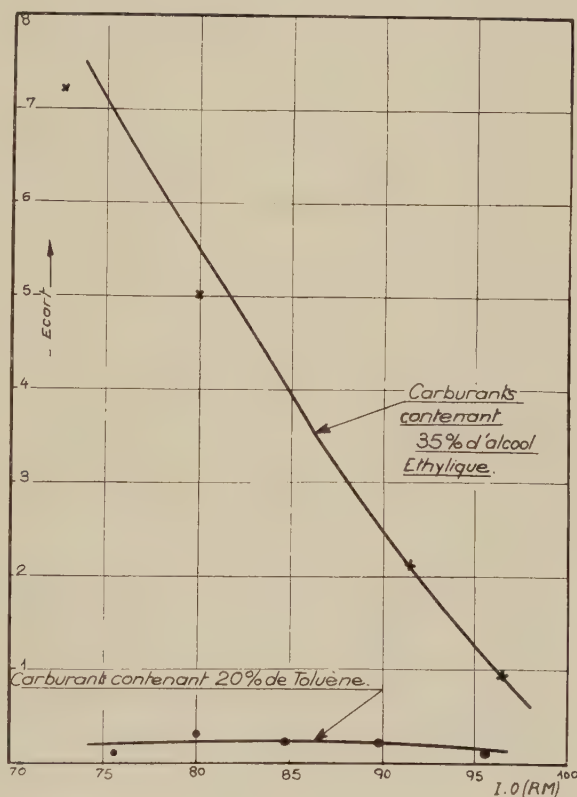


FIG. 23. — Variation de l'écart de classement des carburants.

- a) Richesse variable (Research Method).
b) Richesse constante.

La valeur du N. O. D. est également très influencée et très fortement augmentée (fig. 23).

De cette série d'expériences, on peut conclure que les carburants à base d'alcool sont très sensibles à la richesse et sont en général dépréciés sur le moteur C. F. R. (F_1), ce qui revient à dire que, si deux carburants ont le même indice d'octane F_1 , l'un d'eux contenant une proportion assez importante d'alcool, ce dernier provoquera moins de cliquetis sur moteur réel que le premier des deux carburants. Cette particularité a été vérifiée lors de l'utilisation du supercarburant ternaïre qui contenait de l'alcool et du benzol. Pour un indice d'octane équivalent aux autres *super*, il avait, en général, tendance à engendrer moins de cliquetis en utilisation sur route.

Les différences de comportement entre les hydrocarbures à forte teneur en aromatique et ceux contenant un pourcentage important d'éthanol sont une des conséquences directes de la différence de vitesse de combustion des carburants.

(Cette différence a été mise en évidence dans le paragraphe 3, fig. 9).

c. Variation du délai de détonation en fonction de la température du mélange carburé.

La température du mélange carburé est une variable ayant une certaine importance dans la détermination de la valeur indétonante des carburants par les méthodes standard. Or, en utilisation sur véhicule, cette température dépend essentiellement de l'architecture du moteur et des conditions d'utilisation. Il nous a donc semblé intéressant de voir comment évoluent les qualités indétonantes des carburants comparées à celles des carburants de référence en fonction de la température du mélange carburé.

Dans les méthodes de détermination des qualités indétonantes des carburants sur route, les mélanges de référence sont portés aux mêmes températures que les échantillons à analyser ; aussi, dans les essais qui suivent, nous avons essayé de déterminer l'évolution des qualités indétonantes des carburants d'essais par rapport aux carburants de références, ceux-ci se trouvant dans les mêmes conditions de mesure, c'est-à-dire, entre autre, aux mêmes températures.

Les carburants primaires étant paraffiniques, nous avons choisi des mélanges contenant un pourcentage important d'aromatiques pour faire cette expérimentation.

Les essais ont été effectués en comparant les mélanges suivants aux carburants primaires :

- 1) Benzène + heptane : 78 % benzène + 22 % heptane (indice d'octane $F_1 \sim 86$) ;
- 2) Toluène + heptane : 65 % toluène + 35 % heptane (indice d'octane $F_1 \sim 86$).

Les essais ont été réalisés de la manière suivante :

Pour chacun des carburants à étudier, les déterminations ont été faites suivant les normes de la méthode standard Research (annexe I) ; seul le montage permettant de chauffer le mélange carburé a été mis en place (montage ordinairement utilisé pour les déterminations en Motor Method).

Les températures de mélange carburé pour lesquelles les mesures ont été faites s'étagent de 120° F (valeur relevée généralement en Research Method) à 310° F (la valeur normale pour la Motor Method est de 300° F).

Pour chaque palier de température, une détermination a été faite suivant les méthodes usuelles. De plus, simultanément à ces mesures, les N. O. D. ont été relevés.

Les taux de compression ont été baissés lorsque le cliquetis devenait trop important de façon à rester dans les limites de cliquetis acceptables.

Les résultats de mesure sont consignés dans les tableaux V et VI.

Les figures 24 et 25 donnent l'évolution de la qualité indétonante des mélanges d'étude en fonction de la température du mélange carburé et indiquent également la variation du N. O. D., dans les conditions d'essais ci-dessus définies.

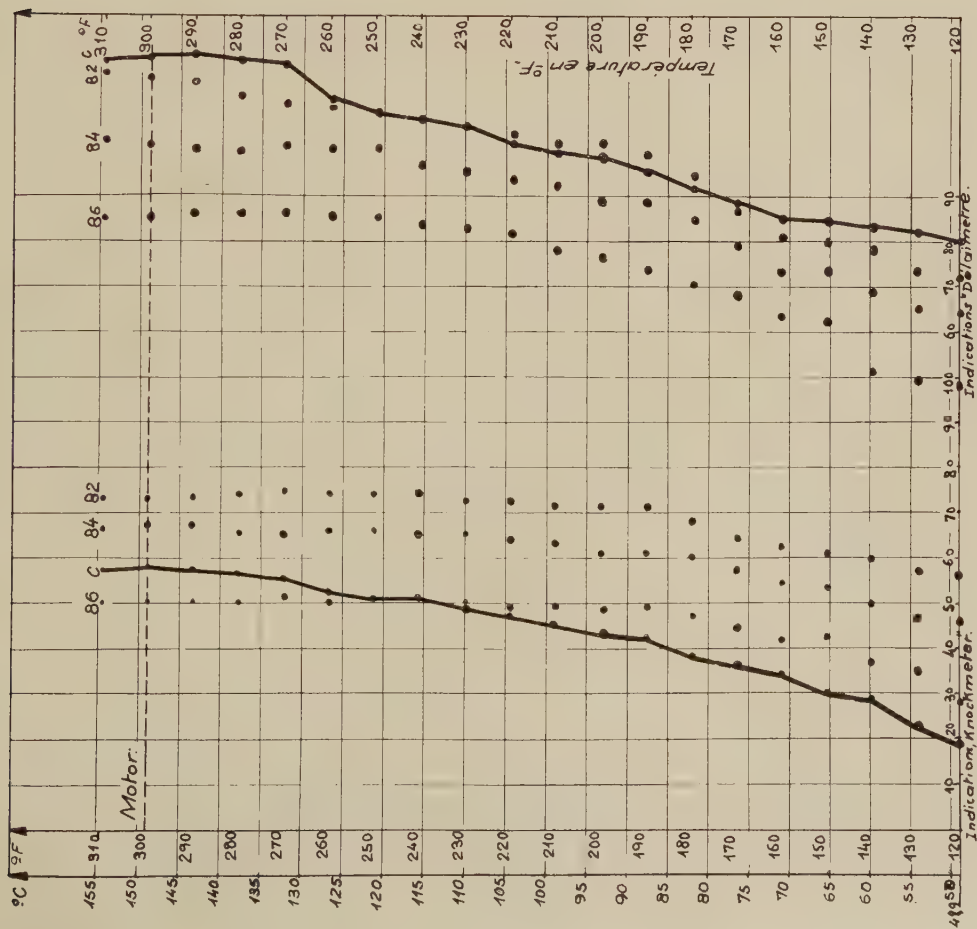


FIG. 24. — Influence de l'élévation de température du mélange carburé sur les carburants aromatiques.
Mélange C = 78 % de benzène + 22 % *n*-heptane.

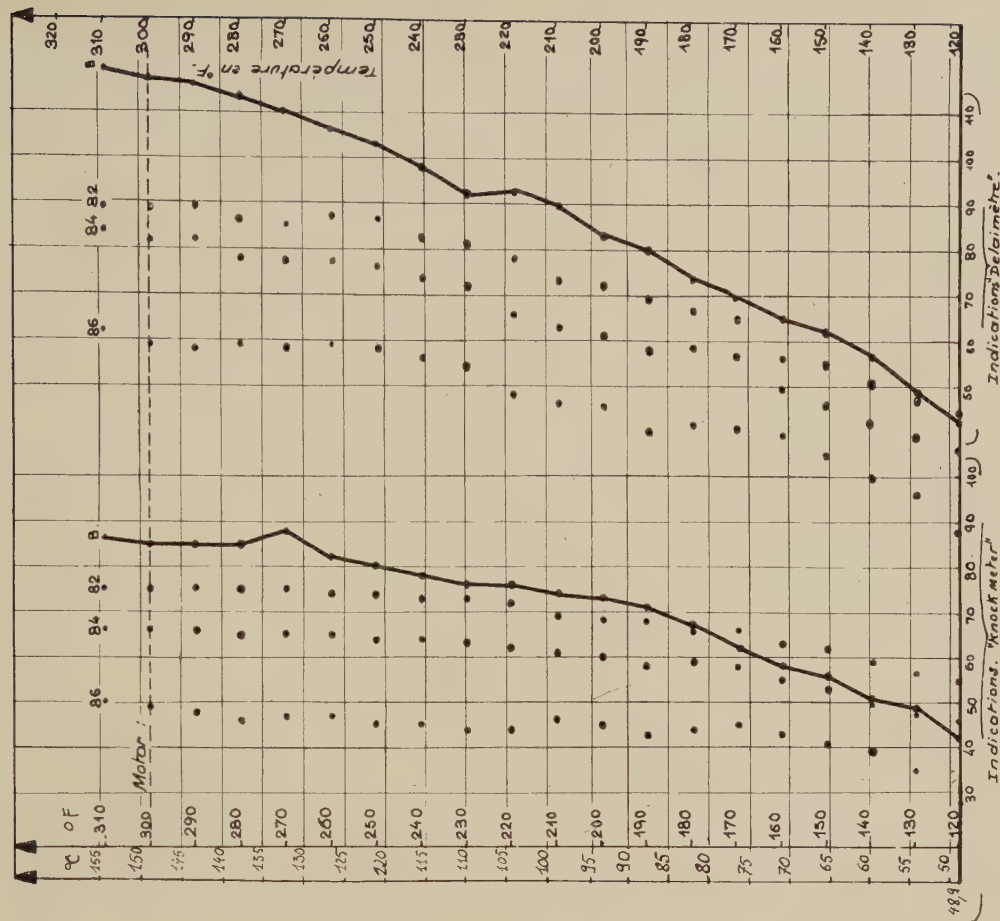


FIG. 25. — Influence de l'élévation de température du mélange carburé sur les carburants aromatiques.
Mélange B = 65 % toluène + 35 % *n*-heptane.

TABLEAU V.

MÉLANGE B D'ESSAIS : 78 % benzène + 22 % heptane.

MÉLANGES PRIMAIRES: 82 : 82 % isooctane + 18 % *n*-heptane.84 : 84 % isooctane + 16 % *n*-heptane.86 : 86 % isooctane + 14 % *n*-heptane.

Densité : 835 à 21° C.

Pres. bar. : 767.

Température : 22° C.

Nota : Les indications knockmeter et délaïmètre sont les lectures faites sur l'appareil de mesure, toutes conditions expérimentales restant inchangées sauf :

- 1) les températures du mélange carburé ;
- 2) les réglages du taux de compression.

INDICATIONS KNOCKMÈTRE						INDICATIONS DÉLAÏMÈTRE			
TEMPÉRA- TURE MÉLANGE CARBURÉ (° F)	TAUX COMPRES- SION ⁽¹⁾	MÉLANGE D'ESSAIS B	MÉLANGES PRIMAIRES			MÉLANGE D'ESSAIS B	MÉLANGES PRIMAIRES		
			82	84	86		82	84	86
120	374	18	55	45	27	80	72	64	48
130	—	22	56	46	34	82	73	65	49
140	—	28	59	49	36	83	78	69	51
150	—	30	60	53	42	84	79	73	62
160	—	34	62	54	42	85	81	73	63
170	—	36	64	57	44	88	86	78	67
180	—	38	68	60	47	91	94	84	70
190	—	42	71	61	49	95	99	88	73
200	423	18	41	31	23	83	81	68	56
210	—	20	41	33	24	84	81	72	57
220	—	22	42	34	24	86	83	73	61
230	—	24	42	35	25	90	85	75	62
240	—	26	44	35	26	92	87	76	63
250	—	26	44	36	26	93	88	80	65
260	—	27	44	36	25	96	90	80	65
270	—	30	45	35	26	99	90	81	66
280	—	31	44	35	25	100	92	80	66
290	467	17	23	17	10	96	75	65	51
300	—	18	23	17	10	86	76	66	50
310	—	17	23	16	10	95	77	68	50

⁽¹⁾ Indications du micromètre.

TABLEAU VI.

MÉLANGE C : 65 % toluène + 35 % heptane.

Densité : 807 à 20° C.

Pres. bar. : 766.

Température : 25° C.

Nota : Les mélanges primaires sont de même composition que ceux utilisés pour les essais exposés dans le tableau V.

INDICATIONS KNOCKMÈTRE						INDICATIONS DÉLAIMÈTRE			
TEMPÉRA- TURE MÉLANGE CARBURÉ (° F)	TAUX DE COMPRES- SION ⁽¹⁾	MÉLANGE D'ESSAIS B	MÉLANGES PRIMAIRES			MÉLANGE D'ESSAIS C	MÉLANGES PRIMAIRES		
			84	68	82		84	86	82
120	374	42	46	28	55	72	66	48	74
130	—	49	48	35	57	79	69	56	77
140	—	51	50	39	59	87	72	60	81
150	—	56	53	41	62	92	76	65	85
160	—	58	55	43	63	95	79	69	86
170	—	62	58	45	66	100	87	71	95
180	418	37	34	24	41	84	69	57	77
190	—	41	33	23	42	90	68	55	79
200	—	43	35	25	43	93	71	60	82
210	—	44	36	26	44	100	73	61	83
220	486	16	7	4	12	78	46	33	58
230	—	16	8	4	13	77	52	39	61
240	—	18	9	5	13	83	53	41	62
250	—	20	9	5	14	88	56	43	66
260	—	22	10	7	14	91	57	44	67
270	—	28	10	7	15	95	57	43	65
280	—	25	10	6	15	98	58	44	66
290	501	20	6	3	10	96	52	38	64
300	—	20	6	4	10	97	52	39	64
310	—	21	6	5	10	99	54	42	64

⁽¹⁾ Indications du micromètre.

Observations sur cette série de mesures :

On voit que les mélanges ayant une forte proportion d'aromatiques ont un indice d'octane, donc une qualité indétonante, décroissant lorsque la température du mélange carburé croît, qualité indétonante comparée à celle du mélange primaire qui suit les mêmes conditions expérimentales. Cette remarque est encore accentuée pour les N. O. D., ce qui signifie que, lorsqu'en utilisation les mélanges carburés seront réchauffés assez fortement, les qualités indétonantes seront moins élevées que ce que l'on peut attendre de la mesure de l'indice d'octane Research ; par contre, par rapport à l'indice d'octane Motor, les aromatiques seront avantagés en utilisation sur route.

On peut penser aussi que le fait de l'écart des qualités indétonantes des aromatiques dû à la variation de la température du mélange carburé motive en partie la grande « sensibilité » des carburants à base d'aromatiques.

(Rappelons que, par définition, la sensibilité d'un carburant est l'écart qu'il existe entre les indices Research Method et Motor Method).

d. Influence de la proportion d'aromatiques sur le N. O. D.

Limitation de l'utilisation de la méthode de délai.

Nous avons vu plus haut, que lorsque des carburants ont une composition chimique se rapprochant des carburants usuels, la mesure du N. O. D. donne généralement des résultats à très peu près équivalents à la mesure de l'indice d'octane par la Research Motor.

Nous avons voulu préciser ici l'influence du pourcentage d'aromatiques à partir duquel il semble que la différence entre N. O. D. et N. O. (R. M.) devient significative.

Pour ce faire, un carburant ordinaire a été choisi.

Les indices d'octane R. M. et N. O. D. ont été mesurés.

Ensuite les mêmes mesures ont été faites en ajoutant un carburant aromatique pur en pourcentage croissant.

Le tableau ci-dessous résume les essais effectués.

CARBURANT	INDICE D'OCTANE RESEARCH METHOD	N. O. D.	DIFFÉRENCE N. O. (R. M.)-N. O. D.
N° 3020 clair	78,1	78,25	+ 0,15
+ 5 % benzol.	79,3	79,0	— 0,3
+ 10 % benzol.	80,4	79,6	— 0,8
+ 20 % benzol.	82,5	80,6	— 1,9
+ 30 % benzol.	85,1	83,6	— 1,5

On peut remarquer que :

1) le délai de détonation raccourcit lorsque la proportion d'aromatique augmente (ceci confirme les conclusions trouvées précédemment) ;

2) Il faut 20 % minimum de carburant aromatique dans un mélange pour que la différence entre N. O. D. et N. O. (R. M.) devienne significative ; à partir de ce pourcentage, le N. O. D. décroît par rapport à l'indice d'octane (R. M.). Ceci provient du faible délai de détonation des carburants aromatiques (conséquence de leur grande vitesse de combustion).

e. Influence de la proportion de P. T. E. ⁽¹⁾ dans l'essence sur le N. O. D.

L'addition de P. T. E. dans l'essence a pour but de diminuer la détonation en évitant la formation de mélange explosif dans l'*end gas*. Le mécanisme généralement admis de l'effet du P. T. E. est le suivant (25) :

Le plomb tétraéthyle exerce son action antidétonante avec transformation de sa molécule organique.

Il se décompose et s'oxyde sous forme active Pbo, mais, actuellement, on n'est pas fixé sur la question de savoir si le P. T. E. agit en phase vapeur ou sous forme de fines particules solides ou peut être sous les deux formes simultanément.

Il existe, au moins, deux étapes pour réaliser l'action antidétonante du P. T. E. :

- 1) Phase préparatoire — la molécule organique se décompose sous forme d'oxyde de plomb ;
- 2) Phase d'inhibition — qui détermine les facultés antidétonantes de l'oxyde de plomb dans un ensemble de circonstances données.

Les carburants ont une susceptibilité au P. T. E. très différente — hydrocarbures paraffiniques à chaîne ramifiée — très susceptibles du P. T. E. hydrocarbures aromatiques et alcool susceptibilité médiocre, parfois même nulle. Ceci peut s'expliquer de la manière suivante :

Une caractéristique des réactions chimiques provoquant la détonation de la plupart des carburants consiste en un mécanisme à deux phases.

La première phase aboutit à la formation d'une flamme froide.

Le P. T. E. semble avoir moins d'effet sur les réactions provoquant l'apparition de flammes froides que sur les réactions suivantes conduisant à la flamme chaude correspondant à la véritable combustion.

Ceci suggère que la flamme froide joue un certain rôle dans la décomposition du P. T. E. — sous forme active.

Cette hypothèse semble être vérifiée dans une certaine mesure par la corrélation trouvée par Downs entre la susceptibilité au P. T. E. et l'intensité de la flamme froide.

Les hydrocarbures aromatiques, les alcools et les naphthènes qui ont une mauvaise susceptibilité au P. T. E. ont également des intensités de flamme froide assez faibles, voire même inexistantes.

Nous avons voulu ici voir l'influence de la proportion de P. T. E. dans un carburant sur la différence de classement N. O. (R. M.) et N. O. D.

Pour ce faire, nous avons choisi un carburant de base et nous avons ajouté du P. T. E. en proportions croissantes.

Les mesures effectuées sont résumées dans le tableau VII ci-dessous.

TABLEAU VII.

CARBURANT	N°	10 (R. M.)	N. O. D.	DIFFÉRENCE
Carburant de base + 0,3 % de P. T. E....	2909	90,8	90	— 0,8
Carburant de base + 0,5 % de P. T. E....	2910	92,6	92,4	— 0,2
Carburant de base + 0,6 % de P. T. E....	2911	93,6	93,5	— 0,1

La courbe 26 tirée du tableau VII ci-dessus résume l'influence d'addition de P. T. E. sur la différence N. O. (R. M.)-N. O. D.

⁽¹⁾ Proportion de plomb tétraéthyle.

- a) Le P. T. E. allonge le délai de détonation (résultat prévu) ;
 b) le P. T. E. ramène la valeur du N. O. D. à l'indice R. M., ce qui signifie que les carburants contenant moins de P. T. E. sont plus dépréciés si l'on considère le délai de détonation que ceux contenant une proportion importante de P. T. E. (0,4 à 0,6 %). En utilisation sur route, le délai de détonation étant allongé, il sera possible d'augmenter l'avance à l'allumage sans pour cela avoir de cliquetis trop important.

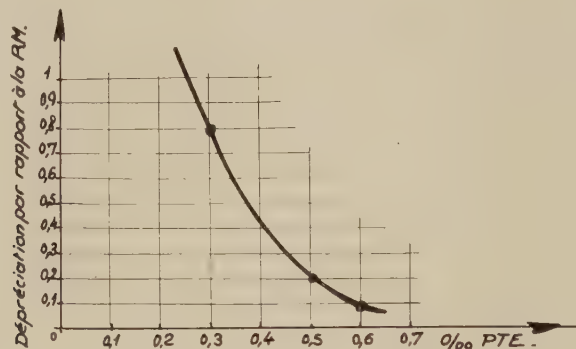


FIG. 26. — Influence de l'addition de P. T. E. dans l'essence sur la différence N. O. (R. M.)-N. O. D.

4. CONCLUSIONS SUR LES ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES MOTEURS C.F.R.

De l'expérimentation faite ici, les points suivants peuvent être dégagés.

1) Il semble que pour les carburants usuels, le délai de détonation suive les mêmes lois de variation que l'indice d'octane mesuré par la Research Method. Il serait donc possible d'utiliser la méthode de mesure de N. O. D. pour déterminer la valeur indétonante d'un carburant.

Cette méthode semble actuellement étudiée par l'A. S. T. M. Committee pour classer de façon plus précise les carburants dont l'indice d'octane (R. M.) dépasse la valeur de 100. En effet, au-dessus de cette valeur, l'amplitude de détonation ou la valeur de dp/dt ne semblent pas refléter exactement les qualités indétonantes des carburants en utilisation ; de plus, dans cette zone, une grande précision est nécessaire étant donné le prix de revient du point d'octane ; aussi il semble qu'une méthode basée sur la mesure du délai de détonation soit plus précise et plus fidèle.

Les travaux faits ici montrent que l'application d'une telle méthode de mesure ne semble pas apporter de grandes difficultés ; par contre, la mise au point du mesureur de délai présente cependant quelques difficultés quant à la précision de mesure. En effet il est relativement difficile d'obtenir le déclenchement de la bascule de mesure exactement à la première impulsion due à la détonation ; il faut pour cela un appareil suffisamment sensible, car cette première surpression est généralement assez faible ; mais il est nécessaire également que l'appareil ne se déclenche que sous l'effet de cette impulsion et non sous l'effet de parasites. Il est donc indispensable de concilier ces deux points opposés, ce qui complique un peu la mise au point du mesureur de délai.

2) L'étude du délai de détonation, en fonction de certains paramètres, nous a donné les résultats suivants :

a) Les carburants de natures chimiques très différentes ont des délais différents pour un même indice d'octane :

Carburants à base aromatique : délais courts ;

Carburants à base paraffinique : délais relativement longs.

Mais il est nécessaire d'avoir au moins 20 % d'aromatiques dans un mélange pour que les différences de délai soient significatives.

b) Si l'on modifie la richesse lors de la détermination de l'indice d'octane ou du N. O. D., certains carburants semblent peu sensibles (mélanges contenant des aromatiques) ; par contre, des carburants contenant de l'alcool sont très avantagés.

Il semble que ce fait puisse influencer le classement des carburants en utilisation (sur véhicule par exemple).

c) De même les paramètres suivants ont une importance relativement grande sur le classement des carburants :

— La température du mélange carburé.

La mesure du délai de détonation déprécie le carburant par rapport à la mesure de l'indice d'octane dans le cas où la proportion d'aromatique dépasse 20 % dans le mélange étudié.

— La teneur en P. T. E. favorise au contraire le carburant ; la différence entre l'indice d'octane (R. M.) et le N. O. D. diminue quand la teneur en P. T. E. augmente.

Cependant, jusqu'ici, nous avons étudié un paramètre de mesure sur moteur C. F. R. (A. S. T. M.) ; ce moteur, comme nous l'avons souligné précédemment, est un moteur de laboratoire dont les conditions de fonctionnement sont assez éloignées des conditions de fonctionnement des moteurs de véhicules.

Dans le chapitre suivant, nous étudierons les qualités indétonantes des carburants sur un moteur expérimental se rapprochant de très près des moteurs équipant les véhicules modernes.

Ce moteur, à taux de compression variable, a été étudié et réalisé par l'*Institut Français du Pétrole* en collaboration avec la *R.N.U.R. (Régie Nationale des Usines Renault)*.

DEUXIÈME PARTIE

III. POSSIBILITÉ D'UTILISER LES MOTEURS EXPÉRIMENTAUX RAPIDES POUR LE CLASSEMENT DES CARBURANTS

Le moteur expérimental I. F. P.-Renault est un moteur à taux de compression variable, pouvant tourner à des vitesses relativement élevées (4 500 tr/mn) ; ses caractéristiques en font un moteur d'essais ayant des conditions de travail et des performances assez proches des moteurs habituellement utilisés sur véhicule.

La description du moteur ainsi que de la plate-forme d'essais et les modifications apportées à cette dernière sont résumées en annexe II.

En annexe III sont décrits les relevés des courbes caractéristiques du moteur.

1. ESSAIS D'ÉTUDE DU DÉLAI DE DÉTONATION SUR MOTEUR I. F. P.-RENAULT

Les mesures moyennes de délai de détonation nécessitent par principe même une régularité cyclique assez bonne, car il est nécessaire que le courant moyen enregistré par le milliampèremètre de mesure soit le reflet de la distance angulaire séparant l'allumage du début de cliquetis et non la moyenne des cycles pour lesquels a lieu la détonation.

Or sur le moteur I. F. P., comme sur tous les moteurs à allumage commandé ; la combustion est relativement irrégulière.

Avant d'entreprendre une étude de la détonation sur moteur I. F. P., il a donc été nécessaire d'obtenir une plus grande régularité cyclique ; nous avons donc effectué une série d'essais en utilisant une soupape d'admission à déflecteur.

Le rôle du déflecteur de la soupape d'admission est d'homogénéiser le mélange carburé, ceci ayant pour effet de régulariser la combustion.

Cependant, l'emploi d'une telle soupape présente l'inconvénient d'un remplissage moins bon, donc d'une perte de puissance. Nous avons donc cherché à diminuer l'importance du déflecteur tant au point de vue angulaire qu'au point de vue hauteur.

La soupape à déflecteur est représentée sur la figure 27.

La disposition de la culasse est représentée sur la figure 28.

Deux séries d'essais ont été faites :

- 1) Réduction progressive de l'angle du déflecteur ;
- 2) Réduction progressive de la hauteur du déflecteur.

En annexe IV, nous avons groupé les différents résultats d'essais obtenus en utilisant une soupape d'admission à déflecteur.

Les essais réalisés nous ont permis de formuler les observations suivantes :

a) L'emploi d'une soupape d'admission à déflecteur améliore considérablement la régularité du moteur ; il est toutefois nécessaire que le déflecteur ait des dimensions minimales importantes ;

b) Avec l'emploi d'une telle soupape d'admission, le moteur perd une partie de ses performances (12 % de puissance en moyenne).

Malgré l'amélioration de la régularité cyclique, il ne nous a pas été possible d'obtenir une régularité de détonation suffisante pour effectuer une étude de délai. En effet, pour faire cette étude, il est nécessaire d'avoir le phénomène de détonation à tous les cycles, car, au cas où plusieurs cycles ne présenteraient pas de cliquetis, la moyenne générale enregistrée par le mesureur de délai se trouverait faussée. Or certains carburants, en particulier les mélanges contenant des carburants à base aromatique, présentent un phénomène de détonation très irrégulier sur moteur rapide.

D'autre part, il nous a été difficile de définir avec précision l'angle exact où a lieu la première oscillation due au cliquetis, car généralement cette première oscillation est relativement faible.

2. ÉTUDE DE L'INTENSITÉ DE LA DÉTONATION

CLASSEMENT DES CARBURANTS SUR MOTEUR RAPIDE I. F. P.-RENAULT

Des mesures de délai de détonation, faites à l'aide de mesureur mis au point sur moteur C. F. R., se sont avérées relativement imprécises. La reproductibilité des mesures est assez faible et les erreurs faites sont de l'ordre de grandeur des phénomènes à mesurer.

Nous avons donc préféré n'effectuer l'étude du délai de détonation que sur moteur C. F. R. (A. S. T. M.) et entreprendre sur moteur I. F. P. l'étude d'une méthode différente de classement des carburants, méthode se rapprochant davantage des méthodes de classement sur route.

Dans les travaux précédemment effectués, il a été constaté que la nature chimique du carburant, notamment la teneur en aromatiques, pouvait influencer le classement du carburant par rapport aux mélanges de référence iso-octane et *n*-heptane suivant les méthodes utilisées.

En effet, le taux de compression, la température du mélange carburé, la vitesse de rotation du moteur, la richesse... sont autant de facteurs qui peuvent influencer favorablement ou défavorablement sur le classement d'un produit suivant sa nature chimique.

En autres classements intéressants, la mesure de l'indice d'octane au laboratoire et la mesure des qualités indétonantes sur route (voir première partie, chapitre I, paragraphe 3) donnent des chiffres différents et, jusqu'ici, il n'a pas été possible, connaissant par exemple les indices F_1 et F_2 d'un carburant, d'en déduire d'une manière précise son I. O. R. ⁽¹⁾.

Une étude statistique (C. M. *Pétrole*, 1955) a permis de constater que, en général, l'indice d'octane route d'un carburant se trouve compris entre l'indice Research et l'indice Motor ; même l'I. O. R. se trouve plus près du F_1 que du F_2 . Mais ceci est très général et de nombreuses exceptions existent.

D'autre part, les indications sont relativement imprécises, car l'écart entre F_1 et F_2 atteint très couramment 10 à 12 points.

⁽¹⁾ I. O. R. = indice d'octane route.

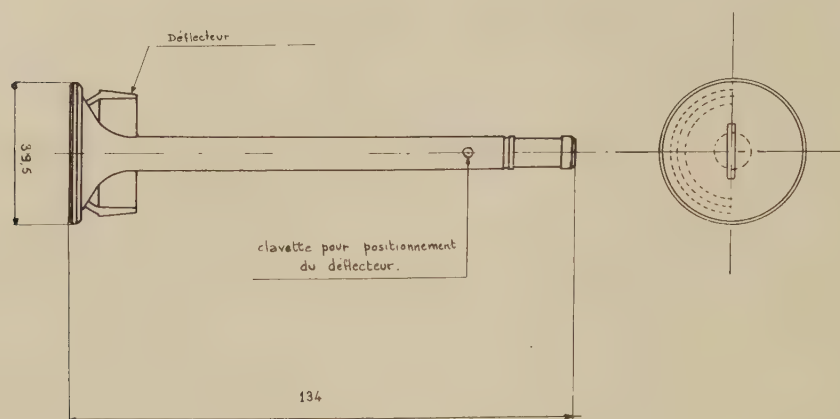


FIG. 27. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; soupape d'admission à déflecteur.

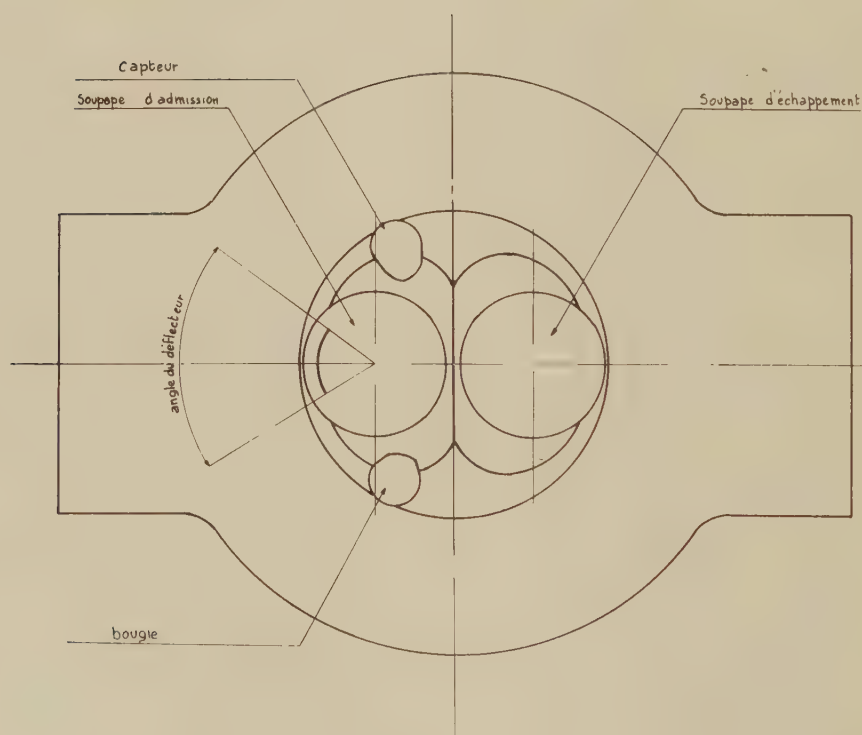


FIG. 28. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; disposition de la culasse.

Enfin, les nouveaux carburants mis sur le marché ayant des proportions croissantes d'aromatiques, l'écart F_1F_2 a tendance à croître, d'où l'intérêt de pouvoir prévoir les qualités indétonantes des carburants en utilisation.

1. Définition de la méthode d'essais.

Les méthodes Uniontown et Borderline de détermination des « indices d'octane route » des carburants ont été exposées dans le chapitre I, paragraphe 3. De nombreux essais suivant ces méthodes ont été effectués à l'*Institut Français du Pétrole* (voir communication *Congrès du Pétrole*, 1955) (17). Suite à ces travaux il a été constaté que : les indices d'octane route relevés sur 203 Peugeot et Dyna-Panhard sont généralement différents mais du même ordre de grandeur. Des essais effectués sur d'autres véhicules ont confirmé ce point de vue.

On a donc pensé assimiler le moteur I. F. P.-Renault à un moteur équivalent 203 Peugeot ou même 403 Peugeot.

Le tableau VIII donne les caractéristiques importantes des moteurs envisagés.

Remarques :

1) Comme nous l'avons déjà souligné, de nombreuses recherches faites à l'*Institut Français du Pétrole* ont montré que les résultats obtenus sur voiture 403 Peugeot, taux 8,0, et 203 Peugeot, taux 7,0, reflètent la moyenne des résultats obtenus sur véhicule (17).

Or, par ses similitudes même, le moteur I. F. P. semble pouvoir se substituer aux moteurs précédents. C'est une des raisons qui nous ont amené à choisir ce moteur.

2) Le moteur I. F. P. présente en outre l'avantage d'être un moteur à taux de compression variable, donc permettant d'étudier une très grande gamme de produits.

3) Le moteur I. F. P. est muni d'une culasse dont la chambre de combustion est hémisphérique. Cette forme de culasse présente l'intérêt de favoriser la propagation régulière du front de flamme (22), celui-ci ayant une propagation sphérique (thèse B. SALÉ) (24).

La forme présumée du front de flamme est donnée par R. VICHNIEVSKY (23) (cours de théorie sur la combustion) où sont comparés les parcours du front de flammes pour des chambres à faible turbulence et à forte turbulence.

D'autres avantages sont inhérents à la chambre hémisphérique :

TABLEAU VIII.

COMPARAISON MOTEUR I. F. P. ET 203-403 PEUGEOT.

	I. F. P.	203 (type TM)	403 (type TN 3)
Nombre de cylindres	1	4	4
Cylindrée.....	502 cm ³	1 290 cm ³	1 468 cm ³
Par cylindre.....	502 cm ³	322,5 cm ³	367 cm ³
Taux de compression	variable	7	7
Culasse.....	hémisphérique en fonte	hémisphérique en alpac	hémisphérique en alpac
Vitesse maximale.....	4 400	4 500	5 200
Vitesse de couple maximal.	2 200	2 100	2 500
Puissance au litre à 4 000 tr/mn	taux 7 : 32 ch	33,5 ch	36 ch
Consommation spécifique à 2 100 tr/mn	239 g/ch/h	250 g/ch/h	235 g/ch/h
Richesse	1,05	1,06	—

— chambre compacte, d'où un rapport $\frac{\text{surface}}{\text{volume}}$ relativement faible, ce qui limite les pertes aux parois ;

- distances moins grandes à parcourir par la flamme ;
- moins de « points chauds », d'où moins de possibilité d'auto-allumage ;
- moins de « recoins » difficilement accessibles par la flamme ;
- maximum de place pour les soupapes, d'où meilleur remplissage possible.

a. Conditions d'essais.

Les conditions d'essais fixées pour le moteur I. F. P. ont été choisies en fonction de mesures faites sur la voiture 203 Peugeot au cours de déterminations d'I. O. R. ⁽¹⁾. Les conditions d'essais ainsi fixées, il a été nécessaire d'élaborer une méthode de mesure se rapprochant le plus possible de la méthode de détermination d'indice d'octane utilisée sur route.

b. Méthode de mesure.

Le critère de mesure est l'apparition du cliquetis, la variable étant l'avance à l'allumage.

— Le cliquetis est détecté à l'aide d'un capteur à magnétostriction type D 1 (fig. 14) placé dans la chambre de combustion du moteur, le signal recueilli est amplifié et enregistré sur un oscilloscope Cossor.

— Les réglages du moteur sont ceux indiqués sur le tableau IX.

TABLEAU IX.

RÉGLAGES MOTEUR I. F. P.
ESSAIS DE DÉTERMINATION D'INDICE D'OCTANE.

Variable : avance.

Régime du moteur : 2 100 tr/mn

	Mélange primaire	Avance vilebrequin
Avance : variable de l'ordre de	90	35°
	85	25°
	80	22°
Charge : 4/4 (pleine admission)		
Richesse : 1,06		
Réglages carburateur.	Buse	25
	gicleur	95
	automaticité. . .	160

Taux de compression : variable.

Pression de compression : 11,5 kg/cm² à 700 tr/mn

Cylasse à soupapes sans déflecteur (afin d'utiliser le moteur I. F. P. dans des conditions similaires aux conditions de fonctionnement des moteurs sur véhicules).

Températures : eau 80° C

huile 70° C

air admis. . . (23 à 26° C)

Humidité : déterminée par l'emploi d'une tour à glace.

L'air admis passé par la tour à glace est donc saturé à 0° (3,6 g/kg d'air sec).

Cette humidité reste constante après réchauffage de l'air dans la tubulure d'admission.

Huile : Shell X 100, S. A. E. 30.

⁽¹⁾ I. O. R. : indice d'octane route.

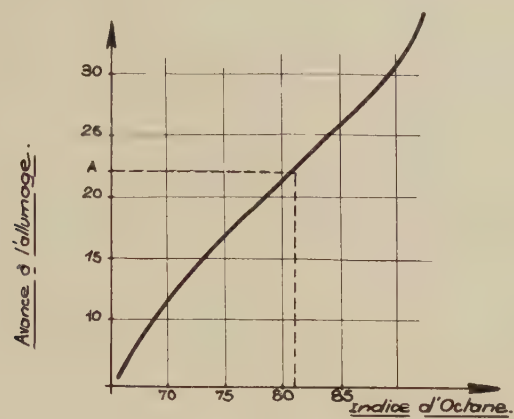


FIG. 29.

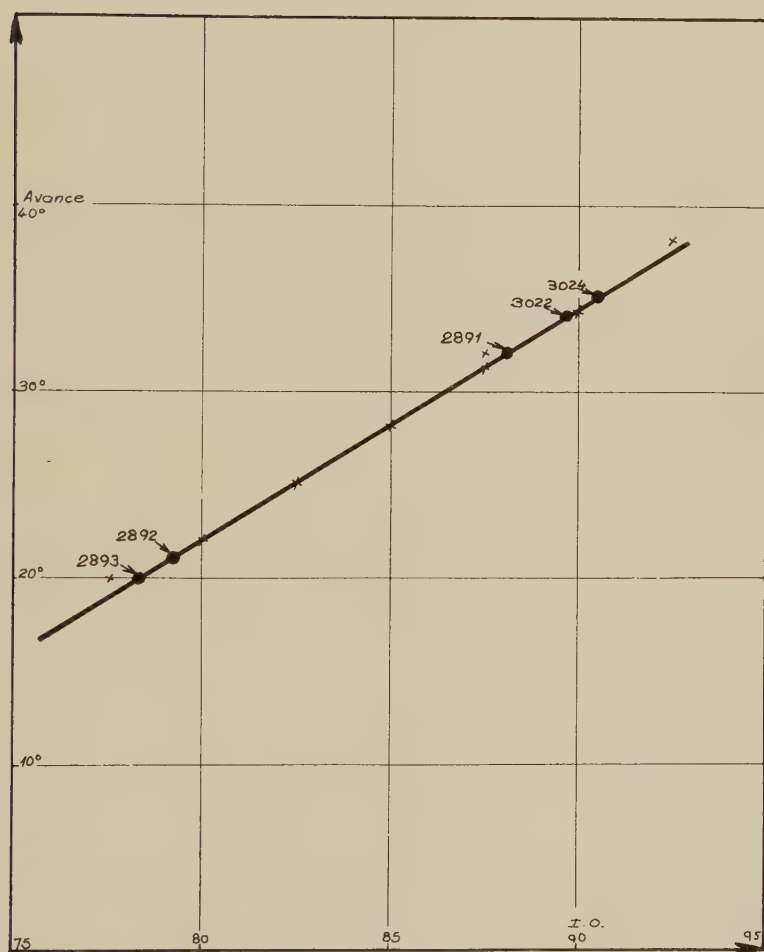


FIG. 30. — Exemple de feuille d'essais ; taux de compression : 8.

La méthode de mesure est la suivante :

1) Tracé de la courbe d'étalonnage. Cette courbe est déterminée avec des carburants de référence mélanges d'isooctane et *n*-heptane en proportions convenables.

Pour chaque mélange de référence utilisé, on note l'avance à l'allumage nécessaire pour obtenir une intensité de cliquetis décelable sur l'oscilloscope.

Toutes les conditions de fonctionnement du moteur définies dans le tableau IX restent fixes.

L'emploi de mélanges de référence dont le pourcentage d'isooctane va croissant, permet d'établir la courbe d'étalonnage ci-dessous (fig. 29).

2) Lorsque la courbe d'étalonnage est établie, le nombre d'octane au banc d'un carburant est déterminé en relevant l'avance à l'allumage nécessaire pour obtenir une intensité de cliquetis standard et en reportant cette valeur de l'avance sur le graphique ci-dessus (carburant A par exemple).

Nota :

Il est nécessaire de refaire la courbe d'étalonnage au moins une fois par jour pour tenir compte des variations éventuelles des conditions de fonctionnement du moteur.

La figure 30 représente une feuille d'essais où figurent :

- a) La courbe d'étalonnage (mélanges primaires) ;
- b) Divers carburants étudiés.

3. EXPÉRIMENTATION

1. Essais préliminaires.

a. Adaptation du taux de compression aux indices d'octane.

Pour obtenir une indication valable sur le moteur I. F. P., il est nécessaire que les réglages du moteur soient tels que la puissance fournie soit correcte ; notamment l'avance à l'allumage ne peut pas être réglée en dehors d'une certaine plage. Cette plage a été déterminée expérimentalement et se situe de 15 à 38°.

Nous avons cherché à adapter le taux de compression à l'indice d'octane des carburants à étudier de façon que les avances donnant la limite de cliquetis soient toujours comprises entre 20 et 30° vilebrequin.

On divise alors les carburants à étudier en groupes ayant des indices d'octane voisin et on choisit le taux de compression du moteur I. F. P. convenant à chaque groupe.

De nombreux essais ont été effectués avec des carburants primaires. Les résultats de cette expérimentation sont contenus dans le tableau de régleage ci-dessous :

TAUX DE COMPRESSION	INDICE D'OCTANE DES CARBURANTS
6	< 80
7	80 à 88
8	88 à 95
9	95 à 100

Nota :

Au cas où l'on ne connaît aucun des indices d'octane du carburant à étudier, il y a lieu de commencer par régler le taux de compression du moteur I. F. P. à la valeur la plus basse, de régler l'avance

dans la plage définie plus haut et de remonter progressivement le taux de compression jusqu'à obtention du cliquetis Standard. Alors, seulement, on peut effectuer l'encadrement du carburant par les mélanges primaires comme il est prévu dans la méthode.

b. Répétabilité des mesures.

Des essais de répétabilité ont été effectués en passant plusieurs fois de suite différents carburants primaires à un taux de compression donné ; ces essais ont montré que les avances donnant la limite de cliquetis ne varient pas plus de 1^o vilebrequin quand l'encrassement du moteur et les conditions atmosphériques restent semblables.

Lorsque les conditions extérieures changent de façon très sensible, il y a intérêt à refaire quelques points de vérification de la courbe d'étalonnage.

2. Étude de carburants type « commercial ».

Afin de connaître la validité de la méthode de mesure exposée ci-dessus, nous avons relevé le nombre d'octane banc I. F. P. (N. O. B.) ⁽¹⁾ d'un certain nombre de carburants dont les indices Research, Motor et l'indice d'octane route (Borderline) ont été déterminés antérieurement.

TABLEAU X.

N° DE L'ÉCHAN- TILLON	F ₁ Research Method	F ₂ Motor Method	I. O. R.		I. O. BANC Moteur I. F. P.	OBSERVATIONS
			Peugeot	Dyna		
2978	92	82	90,5		90	supercarburant
2979	93,9	81	90		90	
2980	92	81,5	90,5		90	
2981	92	81,7	90,5		90	
2982	92	81	90		90	
2983	91,6	81,8	90,5		90,8	
2984	81,7	77,7	81,5		81,7	tourisme
3016	81,7	76,6	81,0	79	79,2	
3017	81,7	76,5	81,0	80,5	79,2	
3018	81,7	76,8	81,0	79,5	80,9	
3019	81,7	76,7	81,5	78,5	80,4	
3020	81,2	78,0	80,0	80,5	80,0	
3021	91,6	81,0	88,5	87,5	87,3	
3022	92,3	81,0	89,5	88,5	89,7	
3023	92,2	81,0	91,0	89,0	90,0	
3024	92,3	82,8	90,0	85,5	90,5	
3025	91,4	81,0	89,5	87,0	86,7	
2889	91,8	87			92,5	
2890	95,6	84,9			94	
2891	90,8	88			88	
2892	82,4	76,4			79,2	
2893	81,4	77			78,3	
2932	92,6	85			90,0	Taux 9
2933	92,8	82,3			95,7	

(1) N. O. B. = nombre d'octane banc.

Le tableau X résume cette série de mesures.

Cette série d'essais fait ressortir la bonne concordance qu'il existe entre les résultats de mesure sur route (sur Peugeot 203 et Dyna-Panhard) et au banc d'essais sur moteur I. F. P.

Il semblerait donc que, pour des carburants de type courant, il soit possible de déterminer de façon relativement précise, les qualités indétonantes que l'on peut attendre de ces carburants en utilisation réelle.

Remarquons que l'installation d'un moteur I. F. P.-Renault pourrait facilement être faite dans les laboratoires des raffineries, cela permettrait de prédéterminer le comportement des hydrocarbures sur véhicule.

3. Étude de carburants ayant un pourcentage important d'hydrocarbures de type aromatique.

L'étude de carburants ayant un pourcentage important d'aromatiques est intéressante car, comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre précédent, les nouvelles installations de distillation en raffinerie, qui permettent d'obtenir des carburants dont les valeurs indétonantes sont élevées, donnent, en général, des mélanges à forte teneur en aromatiques.

Ces carburants ont, en général, la particularité d'avoir un indice d'octane route supérieur à l'indice d'octane Research Method, ce qui revient à dire que, si l'on prend deux carburants A et B ayant même indice d'octane sur moteur C. F. R. Research, mais si le carburant A a une teneur en aromatiques plus élevée que B, A aura sur route une valeur indétonante plus élevée ; A sera donc très avantageux à ce point de vue.

a. Première série d'essais.

La composition de ces mélanges d'essais était la suivante :

Mélange A :	20 %	toluène	+	50 %	iso-octane	+	30 %	n-heptane	;
B :	—		+	55	—	+	25	—	
C :	—		+	60	—	+	20	—	
D :	—		+	65	—	+	15	—	
E :	—		+	71	—	+	9	—	

La composition de ces mélanges a été faite de telle sorte que :

- 1) La densité du mélange reste semblable à celle d'un hydrocarbure du commerce ;
- 2) L'indice d'octane F_1 s'échelonne de 75 à 95 par 5 points d'écart. Les tableaux XI et XII donnent les principales caractéristiques des mélanges ainsi préparés. Le tableau XIII résume les résultats de mesures au laboratoire, sur route et sur moteur I. F. P. (en indiquant, pour ces dernières mesures, le taux de compression utilisé).

Remarques concernant la présente série d'essais :

- 1) Pour les carburants D et E la mesure sur véhicule s'est avérée assez délicate car, surtout dans le cas de la voiture Peugeot, le cliquetis est très peu audible pour les essences dont l'indice d'octane reste relativement élevé.

La précision de mesure est donc un peu moins bonne que pour les carburants A, B, C.

- 2) Tous les mélanges étudiés présentent ici un I. O. R. supérieur à l'indice F_1 (Research Method).

L'indice déterminé sur moteur I. F. P. (I. O. B.) se trouve également plus élevé que l'indice F_1 . On voit que donc la valeur de l'I. O. B. est bien représentative de ce que l'on peut attendre d'un carburant en utilisation réelle sur véhicule.

TABLEAU XI.

CARACTÉRISTIQUES DES MÉLANGES.
Isooctane + *n*-heptane + toluène.

	ISOOCTANE	<i>n</i> -HEPTANE	TOLUÈNE
Densité	0,691 à 20° C	0,683 à 20° C	0,870 à 15° C
Distillation	50 % distillé à 99°,25 augmentation de 20 à 80 % distillé à 0,6° C max.	50 % distillé à 98°,48 augmentation de 20 à 80 % distillé à 0°,20 C max.	100 % distillé à 110°,6 C
Indice octane Motor Method	100	0	109

Les spécifications sont extraites de l'*A. S. T. M. of engine test for rating fuel*, Éditions 1952-1956.

TABLEAU XII.

DISTILLATION DES MÉLANGES.

	A	B	C	D	E
Densité à 20° C.....	0,723	0,723	0,724	0,724	0,725
Tension de vapeur (mm Hg).....	114	120	120	126	124
Teneur en aromatiques et éthyléniques	21	19,6	19,2	21,6	22,4
Distillation :					
Point initial.....	97	97	98	98	98
10 %	98,5	98,5	99	99	99,5
20 —	98,5	99	99,5	99	100
30 —	99	99	99,5	99	100
40 —	99	99	100	99	100
50 —	99	99,5	100	99,5	100
60 —	99,5	99,5	100	99,5	100
70 —	99,5	99,5	100	100	100
80 —	99,5	99,5	100,5	100	100,5
90 —	100	100	101	100	101
92 —	100,5	100	101	100	101
Point final.....	111	111	113	112	112
Distillation (%).	99	99	99	99	99
Résidus. !.....	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6
Pertes.....	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
Pression en millimètres de mercure ..	769	769	769	769	769

TABLEAU XIII.

N° DE L'ÉCHANTILLON	F ₁ Research Method	F ₂ Motor Method	I. O. R.		I. O. Banc I. F. P.	OBSERVATIONS
			Peugeot	Panhard		
A n° 2468	75	71	77	79	75 taux 8 73,8 taux 7	
B n° 2469	80	75,8	82	83,5	82 taux 8	
C n° 2470	85	80,5	87	88,5	85 taux 8 84 taux 7	
D n° 2471	90	85,8	> 90	94 envir.	91,5 taux 8	difficile à mesurer sur véhicule
E n° 2472	95	90,4	> 90	97 envir.	98,5 taux 9	difficile à mesurer sur véhicule

b. Deuxième série d'essais.

Dans cette deuxième série d'essais, nous avons essayé de confirmer la propriété des carburants à forte teneur en aromatiques, propriété d'avoir un I. O. B. > à l'indice F₁.

D'autre part nous avons examiné l'influence du changement de taux de compression chaque fois que cela est possible, c'est-à-dire chaque fois que l'on peut admettre une variation du taux de compression et régler l'avance à l'allumage pour obtenir le cliquetis standard, l'avance restant dans les limites admissibles.

Enfin, nous avons voulu déterminer l'influence du P. T. E. sur ces mélanges.

La composition des mélanges d'essais était la suivante :

Mélange A : 20 % cumène + 54 % iso-octane + 26 % *n*-heptane

— B :	—	+ 44	—	+ 36	—	+ 0,2 ‰ PbET ⁴	—
— C :	—	+ 44	—	+ 36	—	+ 0,5	—
— D :	—	+ 59	—	+ 21	—	—	—
— E :	—	+ 49	—	+ 31	—	+ 0,2	—
— F :	—	+ 49	—	+ 31	—	+ 0,4	—
— G :	—	+ 64	—	+ 16	—	—	—
— H :	—	+ 54	—	+ 26	—	+ 0,2	—
— I :	20 % toluène	+ 51	—	+ 29	—	+ 0,2	—
— J :	—	+ 47	—	+ 33	—	+ 0,4	—
— K :	—	+ 46	—	+ 34	—	+ 0,6	—
— L :	—	+ 45	—	+ 35	—	+ 0,8	—
— M :	19 % benzène	+ 55	—	+ 26	—	—	—
— N :	—	+ 60	—	+ 21	—	—	—
— O :	—	+ 65	—	+ 16	—	—	—
— P :	—	+ 70	—	+ 11	—	—	—
— Q :	—	+ 75	—	+ 6	—	—	—
— R :	—	+ 54	—	+ 27	—	+ 0,2	—
— S :	—	+ 51	—	+ 30	—	+ 0,4	—
— T :	—	+ 47	—	+ 34	—	+ 0,6	—
— V :	—	+ 45	—	+ 36	—	+ 0,8	—

Comme précédemment, ces mélanges ont été faits de sorte que :

- la densité de chaque mélange reste semblable à celle d'un hydrocarbure du commerce ;
- les indices d'octane F_1 des mélanges sont échelonnés de façon à couvrir la gamme de 75 à 95.

Le tableau XIV résume les mesures faites.

Rappelons que chacun de ces carburants a été passé au taux de compression correspondant à son indice d'octane d'après le tableau défini plus haut ; et, de plus, chaque mélange a été essayé à des taux voisins quand cela était possible de façon à mettre en évidence l'influence du taux de compression sur les résultats de mesure.

Analyse des mesures ci-dessus.

Classement N. O. B. par rapport à F_1 :

La dernière colonne du tableau XIV contient, pour tous les mélanges, la différence N. O. B. — F_1 . On remarque que, dans presque tous les cas, cette différence est positive ; on a donc bien des qualités indétonantes de ces carburants supérieures à ce que laisse prévoir la détermination de l'indice d'octane au laboratoire.

Influence de l'addition de P. T. E. :

L'addition du P. T. E. ne change pas la différence de classement N. O. B. — F_1 . Il faut cependant rappeler que les hydrocarbures à forte teneur en aromatiques ont en général une sensibilité assez faible au P. T. E.

Influence du taux de compression :

Le taux de compression utilisé, à condition que les avances à l'allumage limites obtenues restent dans la plage convenable, n'a pas d'effet sur les résultats de mesure du N. O. B.

Les différences relevées (tableau XIV) sont de l'ordre de la précision de la mesure.

Classement N. O. B. par rapport au classement sur route :

Des mesures d'indice d'octane route ont été faites avec les carburants analysés plus haut.

Ces mesures ont été effectuées par la méthode Borderline modifiée sur voiture Peugeot 403 équipée d'un moteur à taux de compression de 9,0.

Les résultats de mesure sont consignés dans le tableau XIV. On remarque la bonne concordance qu'il existe entre les mesures du N. O. B. sur moteur I. F. P. et les mesures de I. O. R. sur route.

Les écarts constatés peuvent être considérés comme de l'ordre de grandeur de la précision de la mesure.

IV. CONCLUSION

Nous avons analysé, au début de cette étude, les facteurs permettant de caractériser le phénomène de combustion anormale :

- a) L'intensité de la détonation ;
- b) Le point dans le cycle où débute la combustion anormale ou « délai ».

Beaucoup de méthodes de mesures sont basées sur l'étude des vibrations dues au cliquetis ; parmi celles-ci, nous trouvons les méthodes de qualification des hydrocarbures sur moteurs standard C. F. R. (A. S. T. M.) où la charge détonante est variable. Ces moteurs ont des caractéristiques de fonctionnement assez éloignées des conditions d'utilisation des hydrocarbures.

Les méthodes de qualification des carburants sur route sont basées sur l'apparition de la détonation, donc à charge détonante faible mais relativement constante par rapport à la charge totale.

TABLEAU XIV.

N° DE RÉFÉ- RENCE	TAUX 6		TAUX 7		TAUX 8		TAUX 9		N. O. B. MOYEN	INDICES D'OCTANE		OBSERVATIONS TAUX 9,0	
	N.O.B. (²)	Puis- sance (¹)	N. O. B.	Puis- sance (¹)	N. O. B.	Puis- sance (¹)	N. O. B.	Puis- sance (¹)		F ₁	F ₂	(N. O. B.- F ₁)	I. O. R. Peugeot 403
A	3374	80	80,5	4,30					80,2	80,4	78	- 0,2	80,5
B	3375	77,5	77,2	4,27					77,3	79,4	80,4	- 2,1	78,0
C	3376		88,0	4,53					88,4	87,4	86,2	+ 1	88,0
D	3377		85,0	4,46		88,8	4,66		85,5	85,0	82,6	+ 0,5	85,4
E	3378		82,8	4,51		86,0	4,50		82,9	83,7	84,2	- 0,8	81,8
F	3379					83,0	4,38		89,5	89,5	88,2	+ 1,2	89,4
G	3380					90,0	4,64		90,5	89,3	87,0	+ 0,8	89,0
H	3381					90,5	4,65		89,0	88,2	88,4		
I	3253		83,5	4,53		84,0	4,56		83,7	84,0	82,7	- 0,3	83
J	3254		87,0	4,54		86,5	4,59		86,8	86,0	84,0	+ 0,7	—
K	3255					92,0	4,81		91,5	88,6	86,0	+ 1,9	—
L	3256					93,3	4,83		92,9	89,9	86,5	+ 3,0	—
M	3242	77,0							77,0	75,3	74,2	+ 1,7	78,0
N	3245	81,5	81,0	4,52		82,0	4,48		81,5	81,2	79,0	+ 0,3	81,0
O	3246		85,0	4,60		85,0	4,53		85,0	84,5	82,5	+ 0,5	84,0
P	3247					91,0	4,77		91,0	89,6	87,6	+ 1,4	89
Q	3248					96,0	4,80		96,0	95,2	91,4	+ 0,8	95
R	3249		81,5	4,50		87,3	4,70		81,5	81,8	82,5	- 0,3	—
S	3250					90,0	4,80		87,3	84,8	85,0	+ 2,5	—
T	3251								88,5	85,2	84,0	+ 3,2	—
V	3252								89,0	86,0	84,7	+ 3,0	—

⁽¹⁾ Puissance en chevaux.⁽²⁾ N. O. B. = nombre d'octane banc.

Nous avons examiné l'influence du taux de compression et de la nature du carburant sur la fraction de charge détonante dans le cas des méthodes standard.

Nous avons étudié la possibilité de classement des carburants sur moteur C. F. R. en considérant le « délai de détonation » comme critère de mesure.

L'influence des divers paramètres : composition chimique du carburant, température du mélange carburé, influence de l'addition de P. T. E., a été examinée et les diverses expériences faites montrent que, dans la plupart des cas envisagés, le classement des carburants, en considérant le délai comme critère, semble aussi cohérent que le classement habituel basé sur l'intensité des vibrations.

Cependant, l'étude du délai de détonation pourrait apporter une plus grande précision de mesure dans le cas de carburants d'indice d'octane supérieur à 100, ce qui permettrait de réduire les tolérances dans cette zone, d'où un gain non-négligeable en raffinerie.

Actuellement, le *A. S. T. M. committee* effectue des recherches dans ce sens et nous espérons que les éléments contenus dans le présent travail pourront contribuer à l'élaboration des méthodes nouvelles de classement des hydrocarbures.

Cependant, comme nous l'avons remarqué plus haut, les méthodes de mesures en laboratoire sont assez éloignées de l'utilisation des carburants sur véhicules. Nous avons examiné la possibilité de classer les carburants sur moteurs réels au banc d'essais.

Pour les faibles vitesses de rotation, le moteur C. F. R. peut donner un classement en considérant le « délai » comme critère.

Mais, dès que les vitesses de rotation augmentent, l'utilisation d'un autre moteur devient nécessaire.

Notre choix s'est porté sur le moteur I. F. P.-Renault à taux de compression variable ; mais le fait d'augmenter les vitesses de rotation amène une irrégularité cyclique plus importante. Pour obvier à cet inconvénient, nous avons choisi, comme critère de classement, le calage d'avance à l'allumage correspondant à l'apparition du cliquetis.

La méthode est donc basée sur la détermination des qualités indétonantes des carburants à charge détonante très faible et sensiblement constante si on la rapporte à la charge totale.

Cette méthode de mesure présente l'avantage de reproduire au banc les conditions d'utilisation des produits pétroliers sur véhicule.

Nous nous sommes fixé des normes de mesure et, sur ces bases, avons classé un certain nombre d'échantillons. Il semble que les résultats enregistrés, quoique fragmentaires, soient encourageants et que, moyennant un nombre important de mesures comparatives, il soit possible d'envisager la détermination de l'indice d'octane route au banc d'essais.

L'emploi de cette méthode par les laboratoires des sociétés pétrolières leur permettrait de connaître le comportement des carburants de leur fabrication dans les véhicules sans, pour ce faire, être astreints à de nombreux essais sur voiture qui sont en général assez longs et demandent un personnel très spécialisé.

Manuscrit reçu en septembre 1961.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BOGEN (J. S.) et FAUST (W. J.). — Aircraft Detonation Indication. *S. A. E. Quarterly Transactions*, 1947, 1, 3, p. 457-459.
- (2) COSTA (P. J.) et WHEELER (J. W.). — Classification des carburants en employant un détecteur de détonation. *S. A. E. J.*, avr. 1947, p. 27-29-37.
- (3) DEHN (K.) et BERG (H. H.). — Une méthode comportant la variation simultanée des conditions de marche et de la pression d'alimentation pour mesurer la résistance du moteur et du carburant à la détonation. *M. T. Z.*, sept. 1940, p. 291.
- (4) ERNST (H.) et WIDMAIER (O.). — Méthode

- d'essai unifiée fondée sur la mesure du délai d'allumage applicable aux huiles lourdes comme aux essences automobiles. *A. T. Z.*, 25 oct. 1940, p. 501.
- (5) GUYOT (R.) et BOYER. — Essais de détection du phénomène du cliquetis sur moteur d'automobile au banc. *P. V. Station Claude-Bonnier*, n° 2447.
- (6) BANERJEA (K.). — Thèse à la Faculté des Sciences, Paris 1954.
- (7) KAROUT (K.). — Contribution à l'étude de quelques caractéristiques de la combustion détonante dans un moteur à allumage commandé. *Rev. Inst. Français du Pétrole*, 1956, **XI**, 3, 398.
- (8) BARBER (E. M.), WILSON (H. I.) et RANDALL (T. H.). — An approach to obtaining road octane ratings in a single Cylinder Engine. *Communication au S. A. E. Meeting*, 6 juin 1956.
- (9) RIFKIN (E. B.) et WALCOTT (C.). — For understanding antiknock action. *Communication au Fuels and Lubricants Meeting*, nov. 1956.
- (10) LICHTENBERGER (F.) et SEIBER (F.). — Un procédé de mesure de la détonation par l'accélération de la pression. *V. D. I. Zeitschrift*, mars 1942, p. 181.
- (11) SERRUYS (M.). — Détection et mesure de la résistance à la détonation des carburants. *S. I. A.*, déc. 1945, **6**, p. 192.
- (12) VICHNIEVSKY (R.). — Méthode de détermination de l'intensité de la détonation. *C. R. A. Note technique*, n° 27, Paris, 1946.
- (13) VICHNIEVSKY (R.). — Étude de la détonation sur moteur C. F. R. *P. V. Station Claude-Bonnier*, n° 2598.
- (14) VICHNIEVSKY (R.). — Les méthodes de détection du cliquetis. *Rev. Inst. Franç. du Pétrole*, 1950, **V**, 12, 371.
- (15) VICHNIEVSKY (R.) et SALÉ (B.). — Étude des phénomènes vibratoires accompagnant la combustion à volume constant. *Rev. Inst. Franç. du Pétrole*, 1950, **V**, 9, 286.
- (16) KERMARREC (F. J.) et WEISSMANN (J.). — Appareillages de mesure destinés aux essais de carburants sur véhicules. *Bull. A. F. T. P.*, **119**, 30 sept. 1956, p. 385.
- (17) VICHNIEVSKY (R.), KERMARREC (F. J.), GUYOT (R.) et WEISSMANN (J.). — Adaptation des carburants à la performance sur route. *Quatrième Congrès Mondial du Pétrole*, juin 1955, section VI F.
- (18) VICHNIEVSKY (R.) et WEISSMANN (J.). — Méthodes de mesures électroniques statistiques pour l'étude des phénomènes de combustion dans les moteurs alternatifs. *Rev. générale de mécanique*, juill. 1954, p. 215; sept. 1954, p. 347.
- (19) GAY (J.) et VICHNIEVSKY (R.). — Mise en œuvre du quartz pour la mesure des pressions. *Rev. Inst. Franç. du Pétrole*, 1947, **II**, 8 et 9, 400.
- (20) A. S. T. M. Manual of engine test methods for ratings fuels (1956).
- (21) *Phillips Petroleum Co Detonation meter model 501*, *Phillips Petroleum Co*, Bartlesville, Oklahoma (U. S. A.).
- (22) LAFFITE (P.). — La propagation des flammes dans les mélanges gazeux. *Actualités scientifiques et industrielles*. Hermann, 1939.
- (23) VICHNIEVSKY (R.). — Lois générales de la combustion et ses applications. Cours d'énergétique générale. Faculté des Sciences de Paris, 1960.
- (24) SALÉ (B.). — Contribution à l'étude de la combustion normale dans les moteurs à allumage commandé. *Rev. Inst. Franç. du Pétrole*, 1958, **XIII**, 6, 7/8 et 9, p. 1040, 1157 et 1279.
- (25) DOWNS (D.), GRIFFITHS (S. T.) et WHEELER (R. W.). — Rôle de la phase préparatoire dans l'action antidétonante des organométalliques à base de plomb. Conférence du 7 déc. 1960, *Maison des Centraux*.
- (26) VICHNIEVSKY (R.). — Apports de l'électronique dans la détermination des caractéristiques antidétonantes des carburants. *Bull. A. F. T. P.*, n° 99 (mai 1953), section « technique des applications », p. 1-7.
- (27) SOLTRAU (J. P.). — Cylinder Pressure variation in Petrol Engines. *Congrès Automobile*, Londres, déc. 1960.

ANNEXES

ANNEXE I

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES INDICES D'OCTANE F1, F2

1. A. S. T. M. F1 (D 908-51) dite Méthode Research.

Les principales conditions opératoires du moteur pour cette méthode sont :

Régime : 600 tr/mn ;

Avance à l'allumage : 13° ;

Air d'admission : humidité tour à glace, température : 125 ± 2° F ;

Huile S. A. E. -30 : pression : 25/30 lb/in², température : 135 ± 15° F ;

Eau de refroidissement : 212 ± 3° F ;

Richesse du mélange : donnant l'intensité de détonation — indiqué par le *Detonation meter* — maximale ;

Taux de compression : réglé pour donner avec le carburant étudié une certaine intensité de détonation, appelée intensité standard ;

Appareil de mesure de la détonation : *Phillips, Detonation meter* (modèle 501-A).

Dans ces conditions, l'intensité du carburant étudié est encadrée par les mélanges de deux carburants de référence d'indices d'octane connus, ne différant pas de plus de deux points d'octane. (Ces carburants de référence sont dits primaires s'ils sont des mélanges d'isooctane et de *n*-heptane.)

L'indice d'octane est calculé par interpolation. L'intensité de détonation standard est obtenue pour l'étalonnage du *Detonation meter*, avec un mélange isooctane + *n*-heptane, dans les conditions opératoires standard à un taux de compression correspondant à l'indice d'octane de ce mélange, selon une table donnée.

2. A. S. T. M. F2 (D 357-49).

Principales conditions opératoires du moteur :

Régime : 900 tr/mn ;

Avance à l'allumage, contrôle automatique donnant :

26° au T. C.	5,00
24°	5,50
22°	6,00
19°	7,00

Air d'admission : humidité tour à glace, température 100 ± 2,5° F ;

Température du mélange : 300 ± 2° F ;

Huile S. A. E. 30 : pression : 25-30 lb/in², température : 135 ± 1,5° F ;

Eau de refroidissement : 212 ± 32° F ;

Richesse du mélange donnant l'intensité de détonation maximale ;

Appareil de mesure de la détonation : *Phillips, Detonation meter* (modèle 501-A).

L'indice d'octane est déterminé selon le même mode que la méthode précédente, mais la table donnant le taux de compression, l'indice d'octane du mélange primaire pour l'intensité standard est différente.

ANNEXE II

Description du groupe expérimental :

Nous donnons, ci-dessous, une description du moteur expérimental I. F. P.-Renault, ainsi que les modifications que nous y avons apportées afin de pouvoir effectuer notre étude.

MOTEUR EXPÉRIMENTAL I. F. P.-RENAULT

1. Moteur (type 664-1 n° 1).

Le moteur I. F. P.-Renault-C. N. R. S. est un monocylindre, quatre temps à taux de compression variable, soupapes en tête.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

— cylindrée : 502,6 cm³ ;

— alésage ø : 80 mm ;

— course : 100 mm ;

— puissance maximale : environ 20 ch au taux de compression 12 ;

— couple maximal : environ 4,9 mkg ;

— refroidissement : eau ;

— taux de compression : variable entre 4,5 et 13 ;

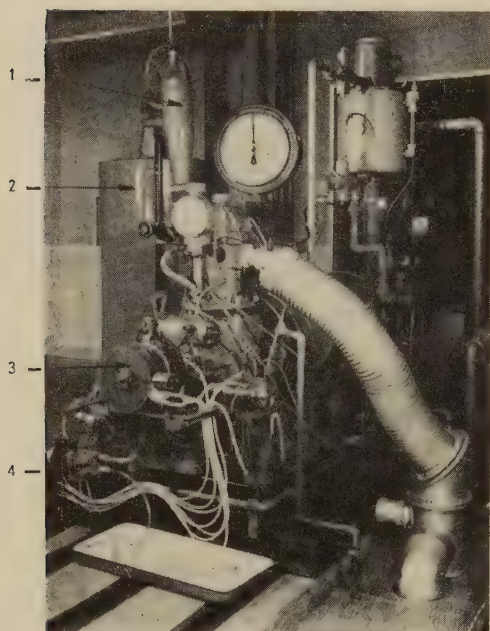


FIG. 31.

Moteur expérimental I. F. P.-Renault.

1. Rechauffage air admis. — 2. Tour à glace.
— 3. Repérage angulaire. — 4. Alimentation en carburants d'essai.

Soupapes :

Matériau : admission : nickel-chrome,
échappement : acier austénitique,
jeux aux soupapes : A : 0,2 à froid ; E : 0,35 à froid ;

Allumage :

par magnéto ou dispositif classique (rupteur),
bougie : AC ou Marchal,
écartement des électrodes : 0,6 à 0,7 mm,
calage variable (0 à 50° vilebrequin) ;

Carburateur :

carburateur à une cuve, dépourvu de starter, mais comportant un dispositif d'automatisme ainsi que le dispositif normal de ralenti. Il est muni, en outre, d'un pointeau de réglage au gicleur principal pour permettre de faire varier la richesse en marche.

Lubrification : huile S. A. E.-30.

Ce moteur est muni de deux circuits de graissages différents :

a) Circuit de graissage du moteur proprement dit : vilebrequin, piston, cylindre ;

b) Circuit de la partie « distribution » du moteur ainsi que les engrenages des prises de mouvement.

Dans l'utilisation présente, les deux circuits sont reliés :

— pression d'huile : palier et bielle : 3 kg/cm² ; circuit de distribution : 0,8 à 1 kg/cm² ;

— contenance du carter : 4 l.

Filtre : SCAM type *auto-klean*.

2. Dispositifs d'essais.**a. Banc d'essais.**

Le moteur d'essais était accouplé à une dynamo-dynamométrique dont les caractéristiques sont les suivantes :

A partir de 1 500 tr/mn, la puissance de freinage est de 14 ch, la tension fournie étant de 100 V.

La puissance de freinage est proportionnelle à la vitesse avec un maximum de 56 ch à 6 000 tr/mn sous une tension de 440 V.

L'excitation séparée est maintenue à 110 V.

Utilisée en moteur pour le démarrage du groupe expérimental, la tension induite nécessaire est de 220 V.

b. Appareillage de contrôle.

Toutes les commandes du groupe expérimental ainsi que certains appareils de contrôle sont groupés sur un tableau de commande situé à proximité du banc d'essais.

Le pupitre de commande comprend :

a) La mise sous tension de l'excitation de la dynamo.

Un voltmètre indique la tension d'utilisation qui peut être réglée par un potentiomètre à réglage très fin ;

b) Le contrôle de l'intensité du courant induit.

Un inverseur permet soit de fournir le courant nécessaire au démarrage du groupe, soit de distribuer le courant fourni par la dynamo sur des résistances de charge. Dans les deux cas, l'intensité est contrôlée par un ampèremètre placé sur le tableau ;

c) Un tachymètre électrique type Cimel permet le contrôle de la vitesse ;

d) Les températures d'eau et d'huile sont indiquées par deux thermomètres et la régulation de l'eau est obtenue à partir de l'appareil de contrôle ;

e) Les dispositifs de sécurité-pression et température de l'huile-température d'eau.

Le couple d'entraînement du moteur à explosion est indiqué à tout moment sur un appareil gradué en mètrekilogramme ; la connaissance de la vitesse permet de connaître à chaque instant la puissance fournie par le moteur.

1) *Réchauffage d'huile :*

Lors de la série d'essais préliminaires, il a été constaté que le temps nécessaire pour obtenir la température d'huile de régime (70°) était très long (deux à trois heures) ; de plus, cette température ne pouvait être maintenue constante. Un chauffage auxiliaire a donc été nécessaire.

Le nouveau dispositif comprend :

a) Une résistance chauffante de 880 W divisée en fractions de 220 et 440 W placée sous le bâti du moteur en contact avec la paroi inférieure du carter d'huile ;

b) L'adjonction, au circuit d'huile, d'un échangeur dont le débit de l'eau de refroidissement est commandé par électrovanne et thermomètre régulateur.

Le dispositif ainsi réalisé permet d'obtenir la température correcte de fonctionnement (70° C) en une demi-heure environ et de maintenir cette température à $\pm 2^\circ$ C près, quelle que soit la marche du moteur.

Nota :

Pour pouvoir obtenir une bonne régulation, il a été nécessaire de mettre des diaphragmes dans le circuit de refroidissement de l'échangeur d'huile afin de limiter le débit d'eau froide, ces diaphragmes ayant des ouvertures de l'ordre de 1 à 2 mm de diamètre.

2) *Réchauffage de l'air admis :*

La température de l'air admis a une très grande influence sur les conditions de fonctionnement du moteur et notamment sur les phénomènes de cliquetis. Il a donc été décidé de prévoir un dispositif permettant de maintenir cette température aussi constante que possible.

Le dispositif utilisé ne vise donc qu'au maintien de la température d'air admis dans des limites admissibles pour les essais projetés.

Il comprend deux résistances chauffantes, l'une de 4 kW, l'autre de 2 kW, placées dans une courte canalisation en amont du carburateur ; un thermomètre indique la température de l'air admis et un bilame, placé très près du thermomètre, permet de maintenir la température en réglant, par l'intermédiaire d'un relais, l'alimentation des résistances chauffantes.

Les essais ont montré qu'il est possible de maintenir la température à $\pm 1,5^\circ$ C près, quelles que soient la vitesse et la charge du moteur.

L'adjonction d'une « tour à glace » permet également de maintenir constant le degré hygrométrique de l'air.

3. **Modifications de la plate-forme d'essais.**

A l'origine, le moteur I. F. P. était accouplé à une dynamo-dynamométrique ; les essais préliminaires ont été effectués dans ces conditions. Mais, pour l'étude de la détonation, il fut nécessaire d'obtenir une vitesse constante, tout en ayant la possibilité de changer de carburant facilement.

Nous avons donc pensé que la dynamo-dynamométrique, une fois les caractéristiques du moteur déterminées ⁽¹⁾, pouvait être remplacée par un moteur synchrone, dispositif utilisé sur les moteurs expérimentaux C. F. R.

Pour pouvoir effectuer les démarrages aisément, le moteur choisi, a été un moteur asynchrone synchronisé Bonnier — type 220.

Il a été accouplé au moteur I. F. P. par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse électrique Cotal.

Lorsque le moteur électrique était accroché sur le réseau, quatre vitesses ont donc été possibles ; nous avons utilisé couramment celle qui se rapproche le plus des vitesses de cliquetis maximal sur les moteurs usuels (2 000 tr/mn).

ANNEXE III

RELEVÉ DES COURBES CARACTÉRISTIQUES DU MOTEUR

1. **Relevé des valeurs des pressions de compression pour les différents rapports volumétriques :**

Les mesures dont les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous ont été faites dans les conditions suivantes :

⁽¹⁾ Voir annexe III.

Avant chaque mesure, le moteur fonctionnait à pleine charge pendant environ un quart d'heure, ceci permettant d'obtenir une température homogène du bloc moteur.

Toutes les mesures ont été répétées trois à quatre fois, la valeur indiquée dans le tableau XV étant la moyenne des valeurs lues.

TABLEAU XV.

RAPPORT VOLUMÉTRIQUE	INDICATION DU MICROMÈTRE	PRESSION DE COMPRESSION		RÉGIME (tr/mn)	TEMPÉRATURES	
		indiquées par le compressio- mètre	(kg/cm ²)		huile (° C)	eau (° C)
6	12,4	124	8,65	500	60	80
7	16,9	152	10,65	500	62	79
8	20	175	12,35	500	62	79
9	22,4	202	14,2	500	62	79
10	24,3	230	16,6	500	61	79
11	25,75	252	17,55	500	61	78
12	26,95	275	19,3	500	61	78
12,5	27,5	291	20,4	500	61	78

D'après les valeurs du tableau XV, les figures 32 et 33 — pression de compression en fonction du rapport volumétrique — ont été tracées.

2. Relevé des courbes caractéristiques du moteur.

Tous les essais ont été faits dans les conditions suivantes :

— puissance maximale ;
— carburant utilisé : carburant Aviation 100-130 (ceci permet de fonctionner à toutes les avances sans risque de cliquetis) ;

— pour chaque point, l'avance notée est celle donnant la plus grande puissance.

Les réglages du carburateur étaient les suivants :

— gicleur principal 95 ;

— automaticité 160 ;

— gicleur de ralenti 25.

Les tableaux concernant les essais comprennent (tableaux XVII à XXII) :

— les conditions atmosphériques ;

— la vitesse du moteur (tr/mn) ;

— l'avance choisie en degrés-vilebrequin ;

— le couple lu au dynamomètre ;

— la puissance développée (ch) ;

— la consommation spécifique exprimée (g/ch/h) ;

— la température d'huile (° C) ;

— la température d'eau (° C) ;

— la richesse déterminée d'après l'analyse des gaz d'échappement.

Les essais ont été faits pour différents taux de compression échelonnés de 7 à 11,5.

Les taux 12 et 13 n'ont pas été utilisés, car le moteur n° 1 d'un type ancien présente un jeu latéral trop important.

Tracé des courbes.

D'après les tableaux ci-dessus, pour chaque rapport volumétrique, les courbes suivantes ont été faites :

a) Puissance en fonction de la vitesse ;

b) Avance optimale en fonction de la vitesse ;

c) Consommation spécifique en fonction de la vitesse.

La figure 34 donne un exemple des courbes caractéristiques sur le taux de compression 7.

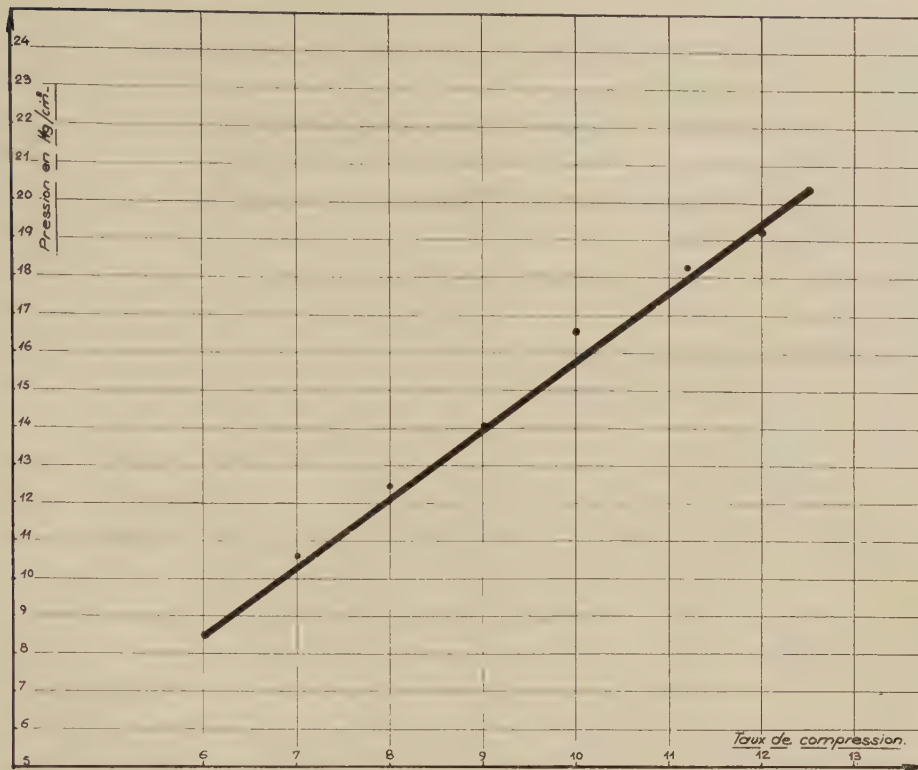


FIG. 32. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; pression de compression en fonction de l'indication du rapport volumétrique.

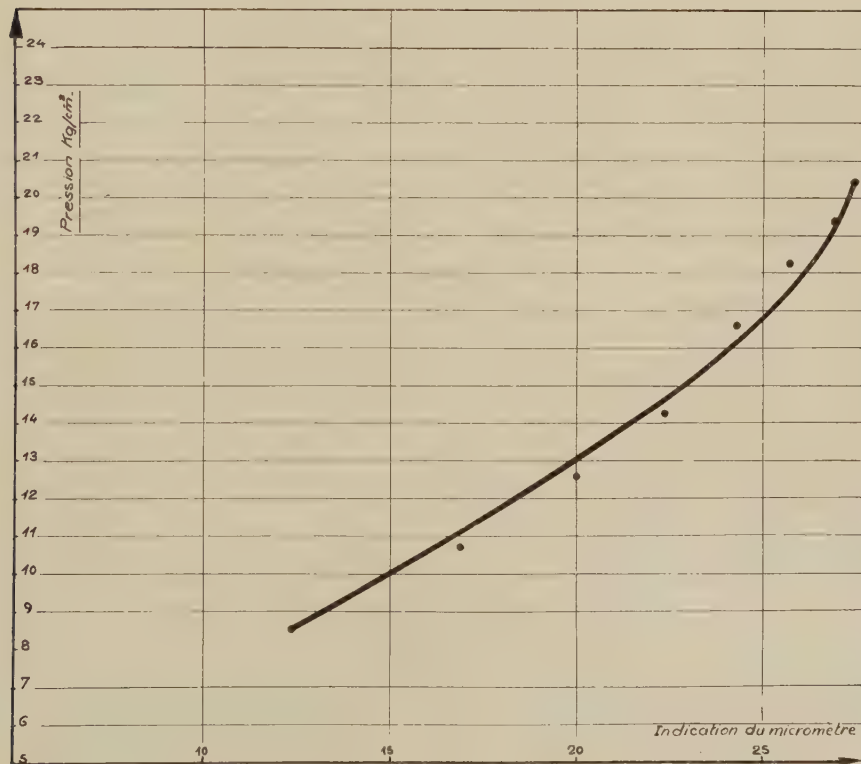


FIG. 33. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; pression de compression en fonction de l'indication micrométrique.

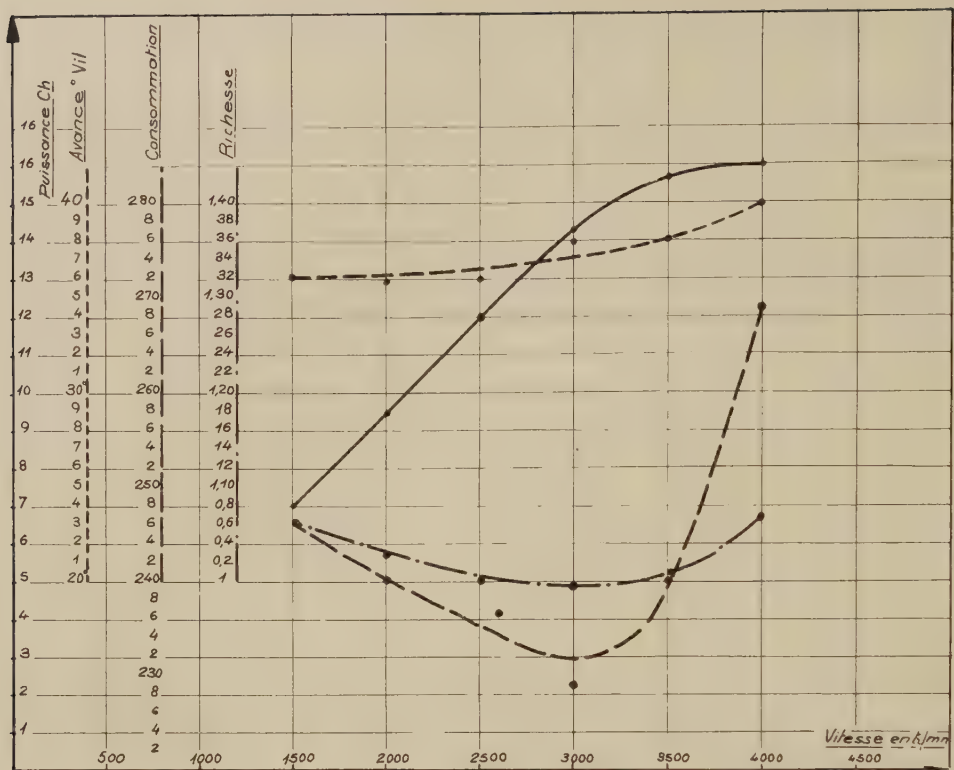


FIG. 34. — Moteur I. F. P. n° 1 ; taux de compression : 7. Puissance = f (vitesse) ; consommation [g/ch/h] = f (vitesse) ; avance = f (vitesse) ; richesse = f (vitesse).

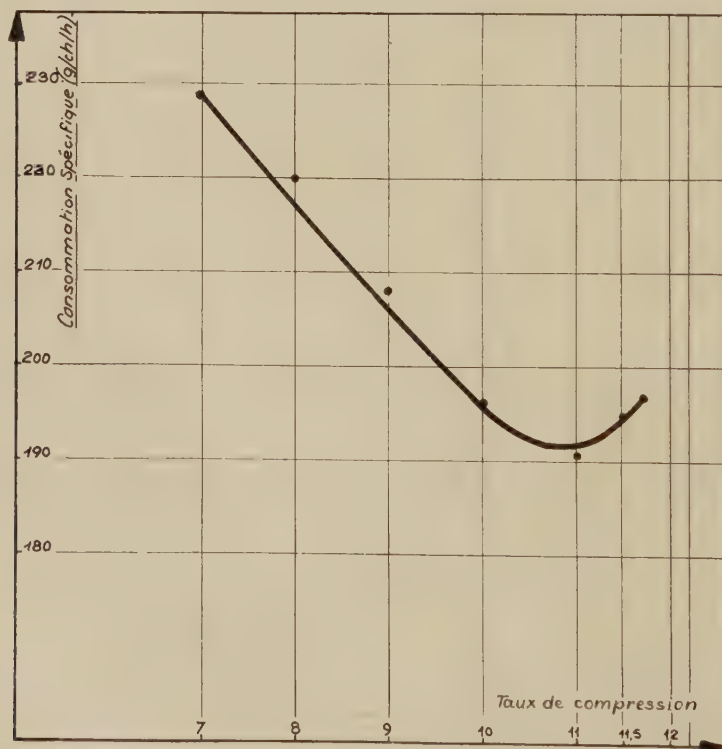


FIG. 35. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; consommation spécifique en fonction du taux de compression (pleine charge, vitesse : 3 000. tr/mn).

Les courbes déduites des tableaux XVII à XXII pour tous les taux de compression étudiés ont les mêmes allures.

De plus, certaines courbes particulières ont été tracées, ce sont :

a) la courbe de la consommation spécifique du moteur en fonction du taux de compression pour une vitesse de rotation de 3 000 tr/mn (vitesse pour laquelle la consommation spécifique est la plus basse) (fig. 35) ;

b) les courbes des puissances obtenues en fonction du taux de compression pour différentes vitesses (fig. 36).

Ces dernières courbes ont permis d'examiner l'augmentation de puissance disponible que l'on peut attendre d'une augmentation de 1 point de taux de compression.

Nous tirons de la figure 36 les valeurs du tableau XVI ci-dessous.

TABLEAU XVI.

VITESSE	AUGMENTATION DE LA PUISSANCE (ch)	AUGMENTATION DE LA PUISSANCE (% ch)
4 000	0,85	5,3
3 500	0,8	5,1
3 000	0,6	4,2
2 500	0,425	3,6
2 000	0,374	3,9
1 500	0,25	3,6

Les courbes de la figure 37 illustrent ces résultats.

3. Remarques concernant les essais préliminaires.

Avance à l'allumage.

Les tableaux XVII à XXII montrent que la variation de l'avance optimale en fonction de la vitesse n'est pas très importante ; d'autre part, en faisant la moyenne de cette variation aux divers taux de compression pour une même vitesse, on obtient le résultat suivant : diminution de l'avance de 1° pour une élévation de 1 unité du rapport volumétrique ; enfin, on peut voir que le réglage de l'avance à l'allumage peut varier de $\pm 1,5^\circ$ vilebrequin autour de la valeur de l'avance optimale sans changer pratiquement la puissance développée par le moteur.

TABLEAU XVII.

TAUX DE COMPRESSION 7.

Conditions atmosphériques : pression 775 mm Hg ; température ambiante : 13,5° C ; carburant utilisé : 100-130 ou 115-145 (densité 702 à 19° C) ; réglage carburateur : 25, 95, 160.

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSSE
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	40°	4,02	16,08	269	80	81	1,07
3 500	38°	4,52	15,82	240	—	78	1
3 000	38°	4,78	14,34	229,2	—	73	1
2 500	36°	4,86	12,15	237	—	73	1
2 000	36°	4,84	9,68	240	—	71	1,03
1 500	36°	4,7	7,05	246	—	73	1,06

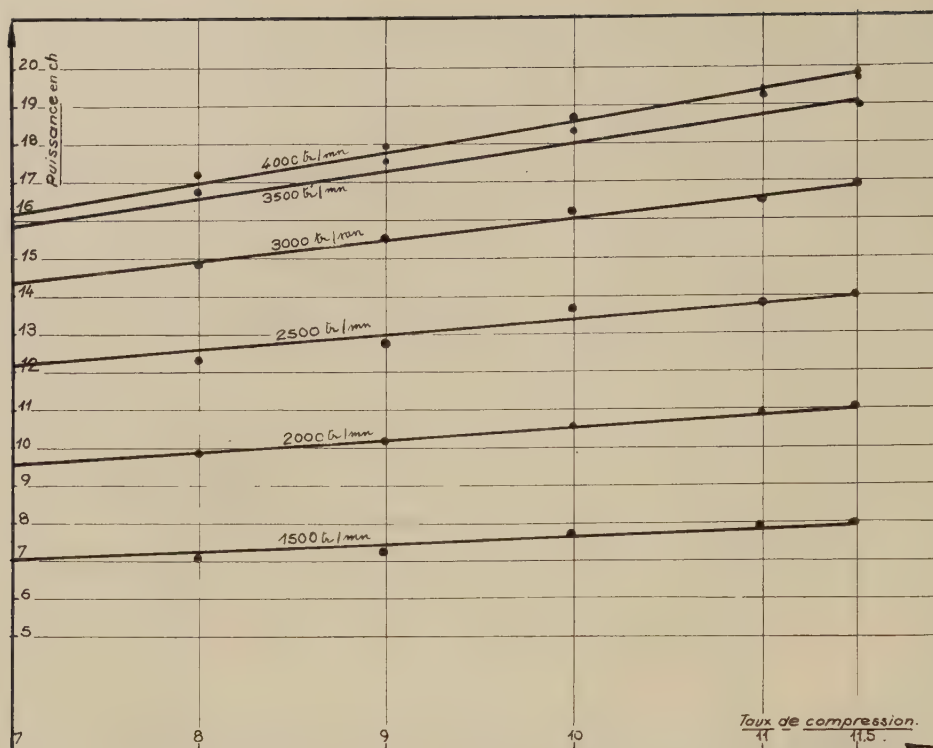
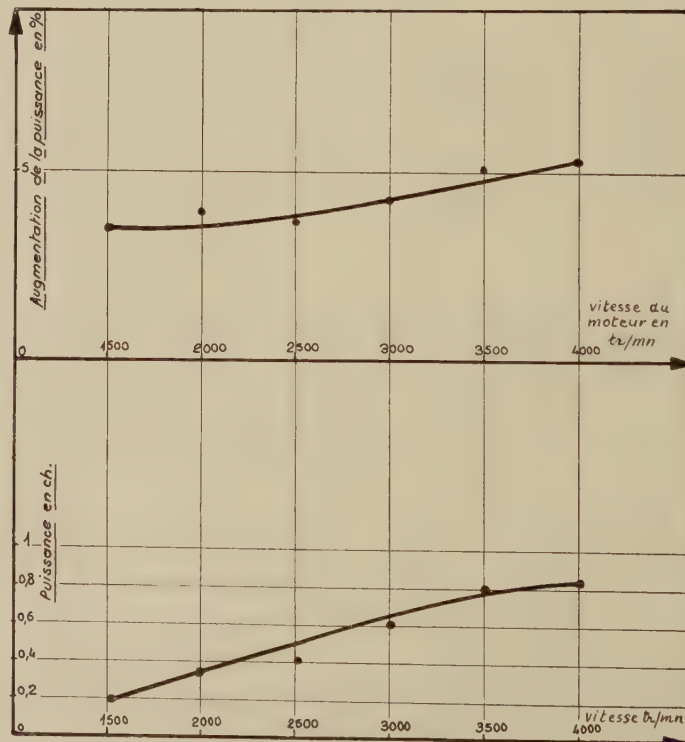


FIG. 36. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; puissance maximale en fonction du taux de compression, pour différentes vitesses, avance optimale.

FIG. 37. — Augmentation de la puissance en pourcentage pour une augmentation de 1 point de taux de compression en fonction de la vitesse.



Augmentation de la puissance maximale pour une augmentation de 1 point du taux de compression en fonction de la vitesse.

TABLEAU XVIII.

TAUX DE COMPRESSION 8.

Conditions atmosphériques : pression 771,5 mm Hg ; température ambiante : 9° C ; carburant utilisé : Aviation (densité 702 à 19° C).

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSÉ
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	32°	4,3	17,2	253	80	69	1,09
3 500	34°	4,8	16,8	221	—	72	1,01
3 000	34°	4,96	14,88	220	—	71	0,98
2 500	32°	4,96	12,4	232	—	67	1,06
2 000	32°	4,90	9,8	231	—	64	1,03
1 500	28°	4,74	7,12	234	—	58	0,98

TABLEAU XIX.

TAUX DE COMPRESSION 9.

Conditions atmosphériques : pression : 766 mm Hg ; température ambiante : 5° C ; carburant utilisé : Aviation (densité 702 à 9° C).

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSÉ
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	36°	4,46	17,84	231,5	80	75	1,07
3 500	36°	5,03	17,6	206	—	72	0,99
3 000	36°	5,18	15,54	208	—	67	0,98
2 500	36°	5,12	12,8	219	—	66	1,05
2 000	34°	5,1	10,2	222	—	65	1,05
1 500	32°	4,96	7,4	227	—	64	1,05

TABLEAU XX.

TAUX DE COMPRESSION 10.

Conditions atmosphériques : pression : 772 mm Hg ; température ambiante : 5,5° C ; carburant utilisé : Aviation (densité 702 à 19° C).

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSÉ
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	36°	4,7	18,8	220	80	73	1,06
3 500	36°	5,26	18,4	198	—	71	1
3 000	36°	5,44	16,3	196	—	70	1
2 500	34°	5,5	13,75	204	—	70	1
2 000	32°	5,36	10,72	208	—	70	1,02
1 500	30°	5,22	7,83	213	—	69	0,99

TABLEAU XXI.

TAUX DE COMPRESSION II.

Conditions atmosphériques : pression : 775 mm Hg ; température ambiante : 5° C ; carburant utilisé : Aviation (densité 702 à 19° C).

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSSE
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	36°	4,83	19,32	212	80	72	1,04
3 500	36°	5,38	18,83	192	—	74	0,96
3 000	34°	5,56	16,68	191	—	72	0,98
2 500	34°	5,58	13,95	202	—	71	1,08
2 000	32°	5,52	11,04	203	—	70	0,94
1 500	30°	5,34	8,01	210	—	70	1,00

TABLEAU XXII.

TAUX DE COMPRESSION II,5.

Conditions atmosphériques : pression : 775 mm Hg ; température ambiante : 13,5° C ; carburant utilisé : Aviation (densité 702 à 19° C) ; réglage carburateur, 25, 95, 160.

VITESSE (tr/mn)	AVANCE	COUPLE (lecture)	PUISSANCE (ch)	CONSOMMA- TION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES		RICHESSSE
					eau (° C)	huile (° C)	
4 000	34°	4,96	19,84	210	80	81	
3 500	34°	5,44	19,04	193	—	78	
3 000	34°	5,62	16,86	194,5	—	74	
2 500	32°	5,63	14,08	199,5	—	73	
2 000	30°	5,58	11,16	203	—	71	
1 500	28°	5,4	8,1	210,5	—	74	

Consommation spécifique.

La meilleure consommation spécifique est toujours obtenue à environ 3 000 tr/mn ; au-dessus de 3 500 tr/mn elle augmente très rapidement.

La figure 35 (consommation spécifique en fonction du taux de compression, pleine charge pour une vitesse de 3 000 tr/mn) montre qu'il y a un minimum de consommation au taux de compression II (valeur de rapport volumétrique relativement élevé). On peut remarquer d'autre part que, jusqu'au taux II, la diminution de consommation spécifique pour une élévation de 1 unité du rapport volumétrique est à peu près constante et est environ de 10 g/ch/h.

Puissance développée.

Cette puissance est maximale aux grandes vitesses (4 000 tr/mn). La figure 36 montre qu'une élévation de 1 unité du taux de compression permet une augmentation de la puissance disponible d'environ 4,5 % en moyenne.

Les richesses d'utilisation se situent très près de la valeur stœchiométrique pour les réglages adoptés. La variation des richesses est relativement faible.

ANNEXE IV

INFLUENCE DE L'EMPLOI D'UNE SOUPAPE D'ADMISSION A DÉFLECTEUR SUR MOTEUR I. F. P.

Les essais ont été conduits de manière à connaître d'une part :

— l'influence de l'angle du déflecteur,

d'autre part :

— l'influence de la hauteur du déflecteur.

1. Mode opératoire.

Pour chaque valeur de l'angle et de la hauteur du déflecteur, des mesures ont été faites aux régimes suivants : 2 500, 2 250, 2 000 tr/min pleine charge.

Ces régimes ont été choisis pour les raisons suivantes :

Dans les moteurs courants de véhicules, le couple est maximal pour des régimes de cet ordre et c'est autour de ces régimes que les voitures sont les plus exigeantes au point de vue indice d'octane du carburant. Il nous a donc paru intéressant d'effectuer les mesures pour les régimes se rapprochant le plus des régimes « critiques » des véhicules courants.

Remarquons d'autre part que, pour le moteur I. F. P., le couple est effectivement maximal entre 2 000 et 2 500 tr/min ; de plus, c'est à ces régimes que nous avons rencontré la plus grande dispersion cyclique en utilisant la soupape d'admission sans déflecteur.

Parallèlement aux mesures courantes (puissances, consommations, températures) faites au banc, un manographe piézo-électrique ⁽¹⁾ nous permettait de contrôler la régularité des cycles pour chaque marche du moteur.

Avant chaque mesure le moteur était mis en température et stabilisé.

2. Résultats de mesure.

Tous les résultats de mesures sont compris dans les tableaux XXIII à XXVIII pour les mesures concernant la variation de l'angle du déflecteur et dans les tableaux XXVIII à XXXI pour les mesures concernant la variation de la hauteur de déflecteur.

Les tableaux comprennent :

- les conditions d'essais et les carburants utilisés ;
- la vitesse du moteur ;
- l'avance en degrés-vilebrequin ;
- l'indication de la lecture du couple ;
- la puissance apparente ;
- la température de l'air admission ;
- la pression barométrique ;
- la puissance corrigée obtenue par l'application de la formule :

$$P_e = P_A \times \frac{760}{H} \times \frac{500 + t}{515}$$

H : pression barométrique lors de l'essai ;

t : température de l'air admis en ° C ;

— la consommation (g/ch/h) ;

⁽¹⁾ Nota. Description du manographe (voir L. SOUKIASSIAN).

— les températures d'eau, d'huile et d'échappement (les températures d'eau et d'huile étaient soumises à un contrôle automatique) ;

— les observations concernant les circonstances des essais.

Les courbes des figures 38 à 43 schématisent la variation de la puissance et de la consommation spécifique en fonction de l'angle et de la hauteur du déflecteur.

Nota :

Carburants utilisés. — Au cours des essais et dans les conditions de marche, l'utilisation du carburant « C 15 » n'a pu être poursuivie, car le cliquetis devenait trop intense au fur et à mesure que l'on diminuait l'angle de déflecteur de la soupape d'admission ; nous avons utilisé de l'essence « auto » puis du « supercarburant ». Au point de vue mesures et dispersion dans les cycles, le changement de carburant, tout en évitant un cliquetis intense, n'a pas eu d'influence sur la régularité cyclique, ce qui nous a permis de tracer les figures 38 à 40.

3. Analyse des résultats d'essais et observations.

a. Influence de l'angle du déflecteur.

La puissance fournie par le moteur diminue quand l'angle du déflecteur croît, phénomène normal, car, dans le cas d'un déflecteur important, le remplissage est moins bon ; par contre la consommation spécifique varie relativement peu.

Au point de vue régularité des cycles, on voit, d'après les enregistrements, qu'un angle de 150° est nécessaire pour obtenir une régularité cyclique acceptable.

b. Influence de la hauteur de déflecteur.

La régularité cyclique semble relativement bonne tant que le déflecteur a une hauteur supérieure à 4 mm.

TABLEAU XXIII.

Carburant : C₁₅ ; taux de compression : 7,5 ;
Densité : 0,725 à 20° C ; gicleur principal : 95.

N° DE L'ESSAI	VITESSE (tr/mn)	AVANCE (degrés- vibrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE APPARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSION AT- MOSPHÉRIQUE	PUISSANCE CORRIGÉE (ch)	CONSOMMATION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (° C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échap- pent	
1	2 500	30	3,3	8,25	80	762	9,3	255	100	75	640	défecteur 180° (sou- pape d'admission)
2	2 250	30	3,4	7,65	80	762	8,6	257	100	74	620	
3	2 000	30	3,56	7,12	85	762	8,1	257	100	74	600	
4	2 500	30	3,38	8,45	80	762	9,55	249	100	75	640	défecteur 150° (sou- pape admission)
5	2 250	30	3,48	7,84	82	762	8,85	251	100	75	620	
6	2 000	30	3,6	7,2	81	762	8,12	255	100	74	580	

TABLEAU XXIV.

Essai A | Essai B

Carburant : tourisme
Densité : 722 à 14,5° C

super ;
737 à 15° C ;

taux de compression : 7,5 ;
gicleur principal : 95.

	VITESSE (tr/mn)	AVANCE (degrés- vibrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE APPARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSION AT- MOSPHÉRIQUE	PUISSANCE CORRIGÉE (ch)	CONSOMMATION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (° C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échap- pent	
7 A	2 500	30	3,58	8,9	85	761	10,1	243	100	74	660	soupape admission,
8 A	2 250	30	3,73	8,36	85	761	9,5	236	100	75	630	défecteur 120°
9 A	2 000	30	3,80	7,6	86	761	8,65	242	98	75	610	
7 B	2 500	30	3,58	8,9	85	761	10,1	243	100	73	660	défecteur 120°
8 B	2 250	30	3,72	8,32	84	761	9,45	238	100	75	630	
9 B	2 000	30	3,86	7,72	85	761	8,76	244	98	75	610	

TABLE XXV.

Essai A Essai B				taux de compression : 7,5 ; gicleur principal : 95.								
Carburant : tourisme		super ;										
Densité : 721 à 16° C		736 à 16° C ;										
N° D'ESSAI	VITESSE (tr/mm)	AVANCE (degrés- vilebrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE APPARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSION ATMOSPHÉRIQUE	PUISSANCE CORRIGÉE (ch)	CONSOMMATION (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (° C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échap- ement	
10 A	2 500	30	3,74	9,35	85	762	10,6	236	98	74	660	soupape admission
11 A	2 250	30	3,7	8,34	85	762	9,5	240	100	76	640	
10 B	2 500	30	3,75	9,4	85	762	10,7	233	98	72	670	déflecteur 90°
11 B	2 250	30	3,94	8,88	85	762	10	230	98	77	660	
12 B	2 000	30	4,04	8,08	82	762	9,2	234	100	73	630	

TABLEAU XXVI.

<i>Essai A</i>		<i>Essai B</i>		taux de compression : 7,5 ; gicleur principal : 95.									
Carburant : tourisme	super :												
Densité : 720 à 19° C	735 à 18° C ;												
13 A	2 500	30	3,85	9,64	84	767	10,8	234	98	75	670	souape admission	
13 B	2 500	30	3,89	9,74	85	767	11	231	102	73	680	défecteur 60°	
14 B	2 250	30	4,02	9,05	84	767	10,2	224	98	74	660		
15 B	2 000	30	4,1	8,2	86	767	9,25	231	100	74	650		

TABLEAU XXVII.

Essai A		Essai B										
Carburant : tourisme	super	Carburant : tourisme	super									
Densité : 721 à 15° C	735 à 15° C	Densité : 721 à 15° C	735 à 15° C									
			taux de compression : 7,5 ; gicleur principal : 95.									
N° ESSAI	VITESSE (tr/mm)	AVANCE (degrés vilebrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE APPARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSIION ATMOSPHÉRIQUE	PUISSANCE CORRIGÉE (ch)	CONSOMMATIONS (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (° C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échappement	
16 A	2 500	30	3,9	9,75	83	773	10,85	235	100	77	675	soupape admission
16 B	2 500	30	3,88	9,7	80	773	10,75	239	100	75	680	déflecteur 30°
17 B	2 250	30	4,06	9,15	83	773	10,2	232	100	75	670	
18 B	2 000	30	4,21	8,42	85	773	9,45	233	98	75	660	

TABLEAU XXVIII.

Essai A		Essai B	
Carburant : tourisme	super	taux de compression : 7,5 ; gicleur principal : 95	
Densité : 721 à 15° C	730 à 16° C ;		

TABLEAU XXIX.

Carburant : C_{15} ; taux de compression : 7,5 ;
densité : 727 à 18° C ; gicleur principal : 95.

N° D'ESSAI	VITESSE (tr/mn)	AVANCE (degrés- vibrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE AP- PARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSION ATMOSPHERIQUE	PUISSANCE COR- RIGÉE (ch)	CONSOMMATIONS (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (°C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échap- pement	
1	2 500	30	3,34	8,35	78	768,5	9,3	250	100	75	660	hauteur du déflec- teur, soupape ad- mission : 10 mm
2	2 250	30	3,44	7,75	82	768,5	8,65	250	100	75	640	
3	2 000	30	3,61	7,22	81	768,5	8,1	254	100	75	615	
4	2 500	30	3,34	8,35	80	759	9,4	253	100	75	650	hauteur du déflec- teur, soupape ad- mission : 8 mm
5	2 250	30	3,44	7,75	80	759	8,65	247	100	75	640	
6	2 000	30	3,6	7,2	80	759	8,12	256	100	75	620	

TABLEAU XXX.

Carburant C_{16} ; taux de compression : 7,5 ;
densité : 727 à 18° C ; gicleur principal : 95.

7	2 500	30	3,36	8,40	80	766	9,4	249	100	73	665	hauteur du déflec- teur, soupape ad- mission : 6 mm
8	2 250	30	3,5	7,85	80	766	8,75	249	100	73,5	650	
9	2 000	30	3,54	7,10	80	766	7,95	261	100	73,5	620	
10	2 500	30	3,34	8,35	80	767	9,35	247	100	75	665	hauteur du déflec- teur, soupape ad- mission : 4 mm
11	2 250	30	3,48	7,85	80	767	8,75	248	100	75	640	
12	2 000	30	3,6	7,2	80	765	8,02	259	100	74	620	

TABLEAU XXXI.

Carburant : C15 ; « supercarburant » ; taux de compression : 7,5 ;
densité 727 à 18° C — 735 à 18° C ; gicleur principal : 95.

N° DE L'ESSAI	VITESSE (tr/mn)	AVANCE (degrés- vilebrequin)	COUPLE (lecture)	PUISSANCE APPARENTE (ch)	TEMPÉRATURE AIR ADMIS	PRESSION AT- MOSPHÉRIQUE	PUISSANCE CORRIGÉE (ch)	CONSOMMATIONS (g/ch/h)	TEMPÉRATURES (° C)			OBSERVATIONS
									eau	huile	échap- pement	
13	2 500	30	3,5	8,75	80	763	9,82	238	100	75	680	hauteur du déflex- teur, soupape ad- mission : 2 mm
14	2 250	30	3,64	8,2	80	763	9,25	235	98	75	650	
15	2 000	30	3,7	7,4	80	763	8,3	247	97	75	630	
16	2 500	30	3,72	9,3	80	758	10,55	234	100	75	680	cliquetis fort ; le dé- flexeur est sup- primé
17	2 250	30	3,88	8,75	80	758	9,87	229	100	75	655	
18	2 000	30	4,20	8,4	80	758	9,5	231	100	75	640	

Nota : lors des essais nos 13, 14, 15, le cliquetis était assez intense ; d'autre part on constatait l'apparition d'irrégularité cyclique.
Pour les essais nos 16, 17, 18, le cliquetis devenant trop fort, il a été utile de changer de carburant et d'utiliser du « super carbu-
rant ».

Irrégularités cycliques importantes lors de ces essais.

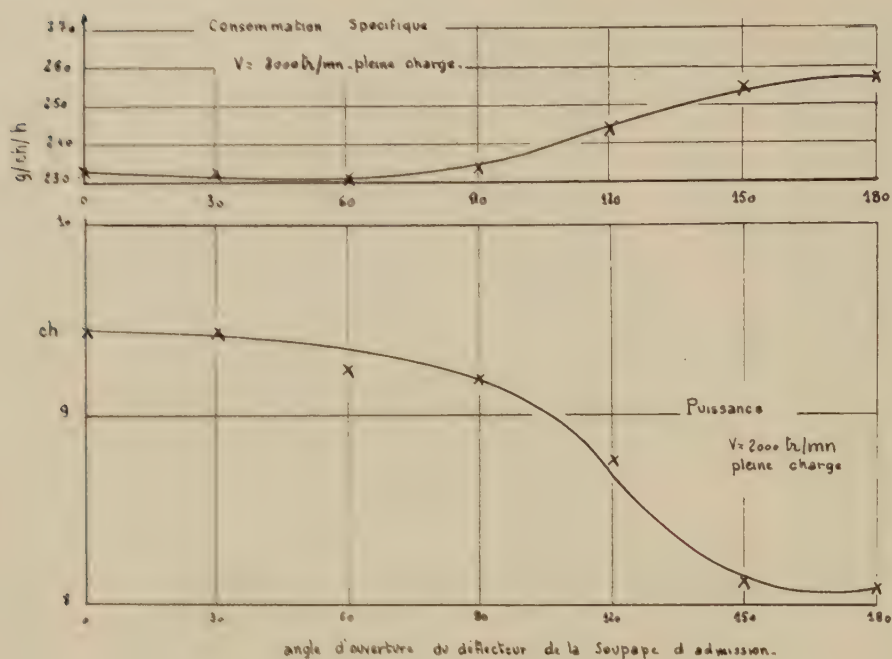


FIG. 38. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1; angle d'ouverture du déflecteur de la soupape d'admission. Variable-Vitesse 2 000 tr/mn.

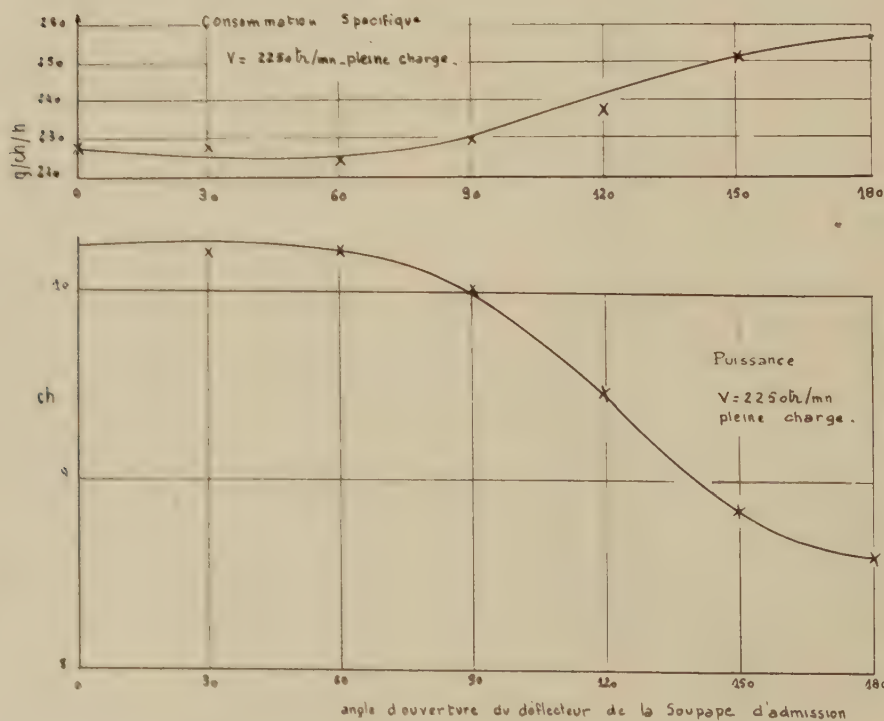


FIG. 39. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1; angle d'ouverture du déflecteur de la soupape d'admission. Variable-Vitesse 2 250 tr/mn.

FIG. 40. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1; angle d'ouverture du déflecteur de la soupape d'admission. Variable-Vitesse 2 500 tr/mn.

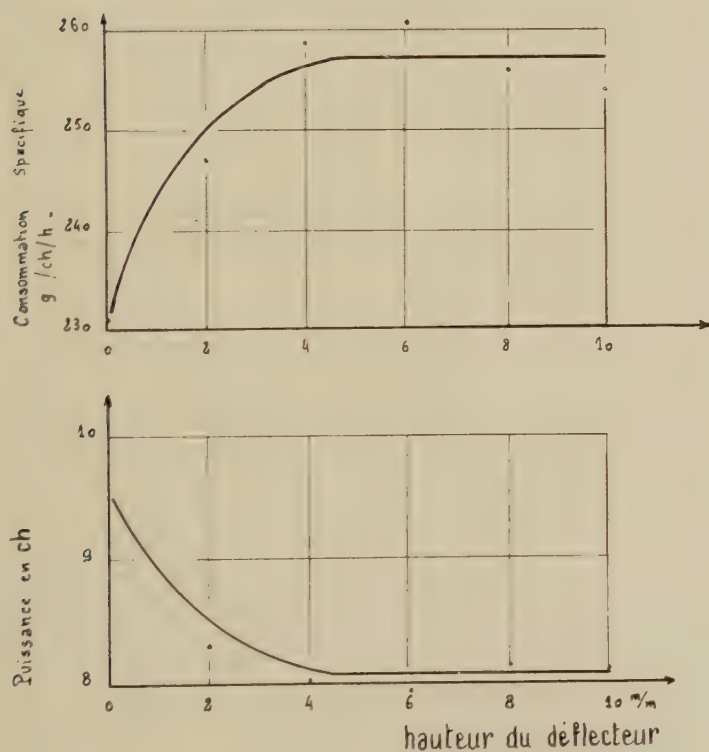
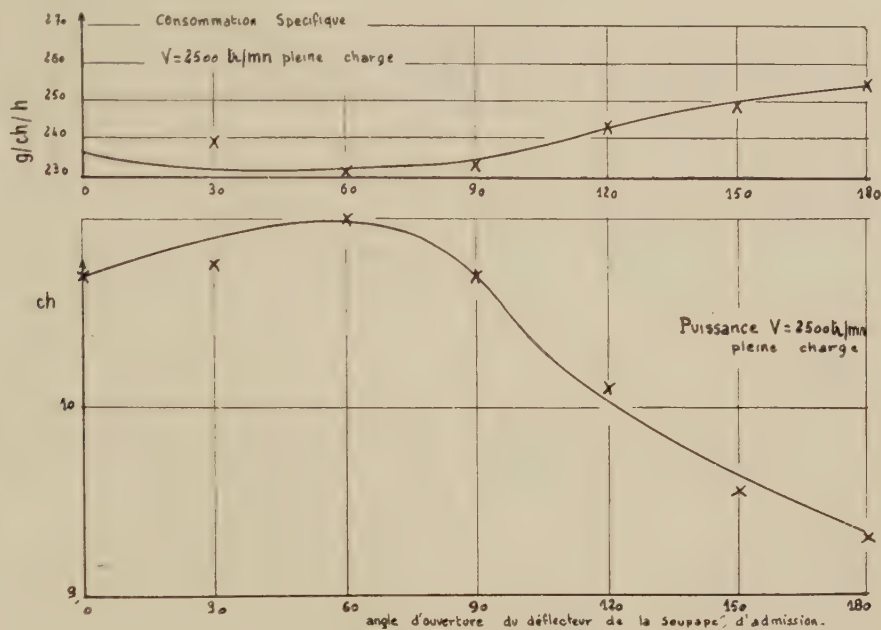


FIG. 41. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1; carburant: C 15; avance: 30°; nombres de tr/mn: 2 000. Soupape à déflecteur, hauteur variable.

FIG. 42. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; carburant : C 15 ; avance : 30° ; nombres de tr/mn : 2250. Soupape à déflecteur, hauteur variable.

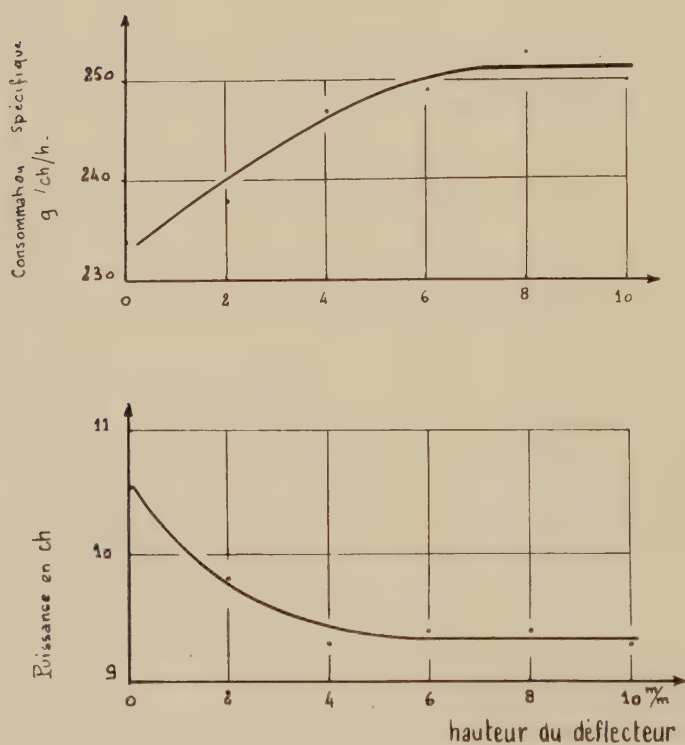
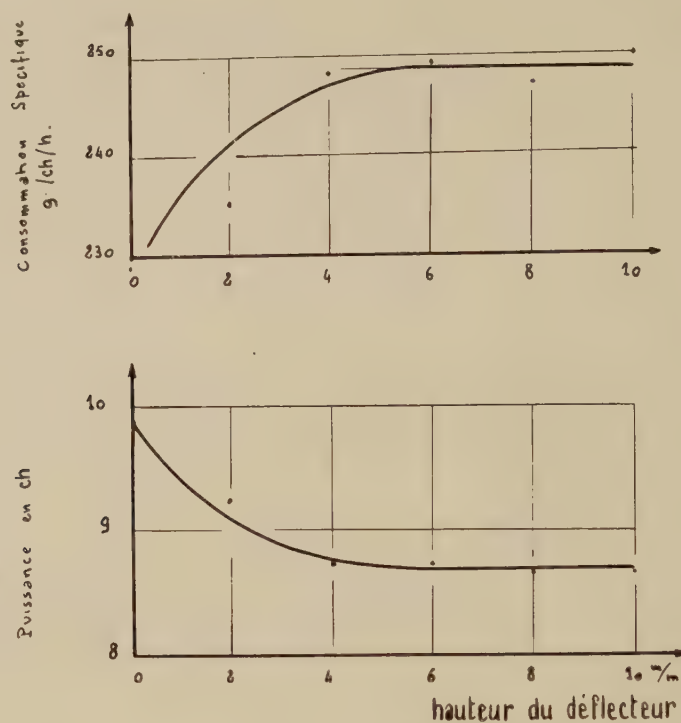


FIG. 43. — Moteur I. F. P.-Renault n° 1 ; carburant : C 15 ; avance : 30° ; nombre de tr/mn : 2 500. Soupape à déflecteur, hauteur variable.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

DÉTECTION DES HYDROCARBURES
ET DE LEURS PRODUITS DE DÉCOMPOSITION
DANS LES GAZ DE COMBUSTION

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 15 mai 1961

*Le Doyen
de la Faculté des Sciences,*

MARC ZAMANSKI

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

*Le Recteur de l'Académie
de Paris,*

JEAN ROCHE

